3/13

Basis-schakelingen met IC's

Inhoud

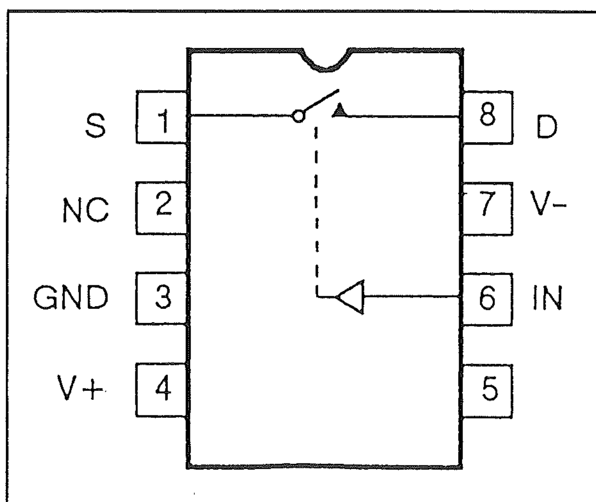
3/13.1

Basis-schakelingen met analoge schakelaars

Inleiding

Definitie

Analoge schakelaars zijn geïntegreerde schakelingen waarmee *analoge* signalen door middel van *digitale* stuursignalen van een in- naar een uitgang geschakeld worden. De meest eenvoudige uitvoering van een analoge schakelaar is getekend in figuur 3/13.1-1. Het IC heeft twee symmetrische voedingsaansluitingen V- en V+, een massa GND, een stuuringang IN, een analoge ingang S en een analoge uitgang D. Staat de IN op logisch "L", dan staat tussen de klemmen S en D een hoge weerstand.



Figuur 3/13.1-1: Het principe van de meest eenvoudige analoge schakelaar.

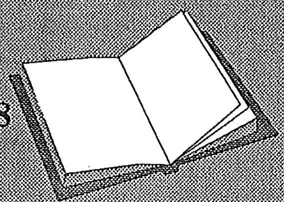
Legt men op de stuuringang IN een "H" aan, dan wordt de weerstand tussen S en D zeer laag, in de meeste gevallen minder dan 100 Ω. De verbinding S naar D gedraagt zich dan als een gesloten schakelaar en het analoge ingangssignaal op S verschijnt vrijwel onvervormd op de uitgang D. De werking is ook nog op een ander gebied te vergelijken met deze van een mechanische schakelaar. In principe maakt het niets uit als men de analoge in- en de uitgangen verwisselt.

Als het IC symmetrisch gevoed wordt, kunnen ook de analoge ingangssignalen symmetrisch ten opzichte van de massa zijn. Een belangrijke eis, omdat analoge signalen in de meeste gevallen zowel positief als negatief ten opzichte van de massa variëren.

Diverse uitvoeringen

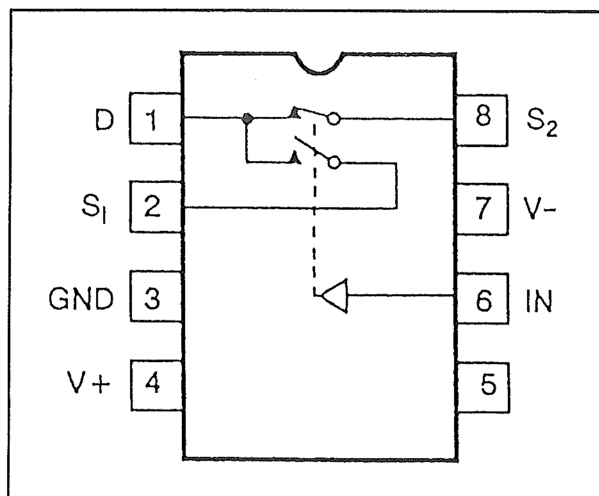
Naast de enkelvoudige AAN/UIT-schakelaar van figuur 3/13.1-1 zijn er een

LEES OOK:
Hoofdstuk 6/6.26
Hoofdstuk 6/7.11
Hoofdstuk 6/100.4
Hoofdstuk 6/100.5
Hoofdstuk 6/100.6
Hoofdstuk 6/100.78



13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

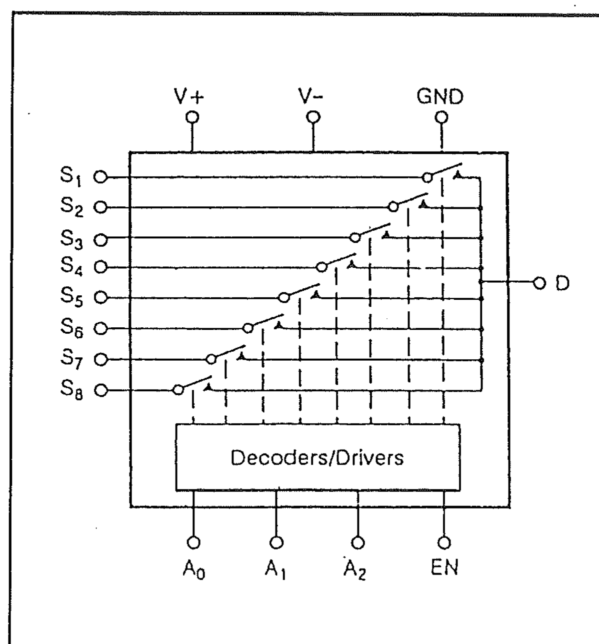
heleboel configuraties ontwikkeld. In figuur 3/13.1-2 is bijvoorbeeld een enkelvoudige omschakelaar getekend, waarmee het mogelijk is twee analoge signalen S1 en S2 op commando van een digitaal signaal IN om beurt te verbinden met de analoge uitgang D. Als IN "L" is, wordt S2 doorverbonden met D. Wordt IN gestuurd door een "H", dan zal S1 doorverbonden worden met D. Soms zijn de vier aansluitingen van de twee schakelaars volledig los uitgevoerd, zodat men het IC kan gebruiken om twee afzonderlijke analoge ingangen naar twee afzonderlijke analoge uitgangen te schakelen. Door echter de twee uitgangen met elkaar te verbinden ontstaat weer de omschakelaar van figuur 3/13.1-2.



Figuur 3/13.1-2: Een analoge schakelaar met twee analoge ingangen en één analoge uitgang.

Multiplexers

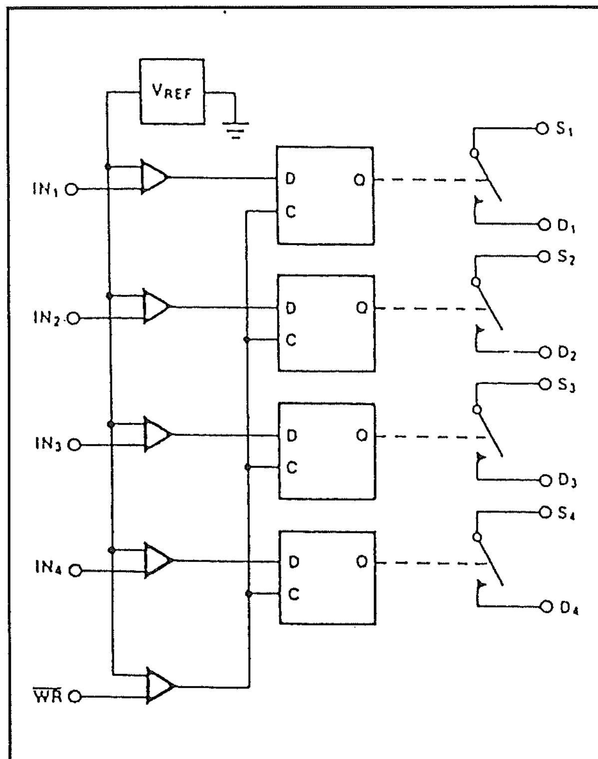
Een uitbreiding van het principe wordt aangetroffen in de analoge multiplexers. Met deze IC's, waarvan figuur 3/13.1-3 een voorbeeld geeft, kan men de oude draaischakelaars met meerdere standen vervangen door een volledig elektronisch werkend equivalent. In het getekende voorbeeld worden acht analoge ingangssignalen S1 tot en met S8 doorverbonden met één analoge uitgang D. Welke ingang met de uitgang wordt doorverbonden wordt bepaald door de binaire code die op de drie digitale stuuringangen A0, A1 en A2 wordt aangelegd. In de meeste gevallen hebben dergelijke schakelingen ook nog eens een enable-ingang EN, waarmee men de schakelaar kan openen. Wordt op de EN een "H" aangelegd, dan worden namelijk alle interne schakelaars geopend, zodat de uitgang D hoogohmig in de lucht zweeft.



Figuur 3/13.1-3: Het principe van de analoge multiplexer.

Analoge multiplexers bestaan in de uitvoeringen 4 naar 1, 8 naar 1 en 16 naar 1. Vaak treft men in één IC diverse schakelaars aan, zoals de combinaties 2 x (8 naar 1) of 4 x (4 naar 1). Soms worden deze schakelaars gestuurd uit één set digitale stuursignalen, soms wordt iedere schakelaar bediend door een individuele set stuursignalen.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-4: Een voorbeeld van een gelatchte analoge schakelaar.

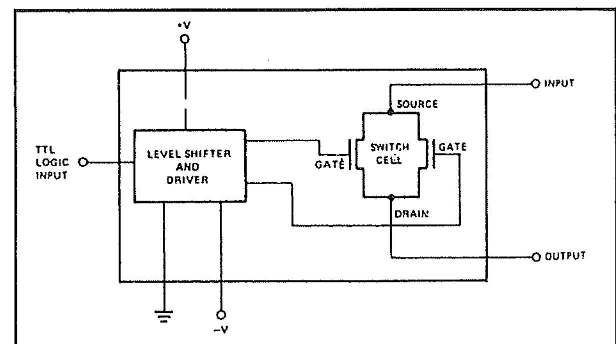
Gelatchte schakelaars

Naast de besproken uitvoeringen, waarbij de besturingssignalen rechtstreeks en zonder tijdfunctie de schakelaars bedienen, zijn er schakelingen ontwikkeld met ingebouwde latch. In de rechtstreekse uitvoeringen moeten de digitale stuursignalen blijvend aanwezig zijn om een bepaalde schakelaarfunctie te vervullen. De gelatchte uitvoeringen hebben echter een ingebouwd digitaal geheugen, in de meeste gevallen een of meerdere flip-flop's, waardoor het mogelijk wordt de schakelaarfunctie te activeren door maar heel even een digitale stuurpuls aan te leggen. De interne flip-flop's worden geset of gereset en de gewenste verbinding tussen een van de analoge ingangen en de analoge uitgang blijft bestaan, ook nadat de digitale stuurpuls is weg gevallen. Uiteraard hebben dergelijke schakelaar-IC's een RESET, waarmee men de ingestelde functie weer kan de-activeren. Een typisch voorbeeld van een dergelijk gelatchte analoge schakelaar is getekend in figuur 3/13.1-4. Het IC bevat vier enkelvoudige losse schakelaars, die door middel van vier flip-flip's worden gestuurd uit vier digitale besturingssignalen. Via de $\overline{WR}$-ingang kan men de vier flip-flop's resetten.

Eigenschappen

CMOS-technologie als voorloper

Analoge schakelaars worden in diverse technologieën gefabriceerd. De eerste generatie waren samengesteld in CMOS-technologie, waarbij de eigenlijke schakelfunctie wordt gerealiseerd door een aantal NMOS- en PMOS-transistoren parallel te schakelen. Het blokschema van een dergelijke analoge schakelaar is getekend in figuur 3/13.1-5.



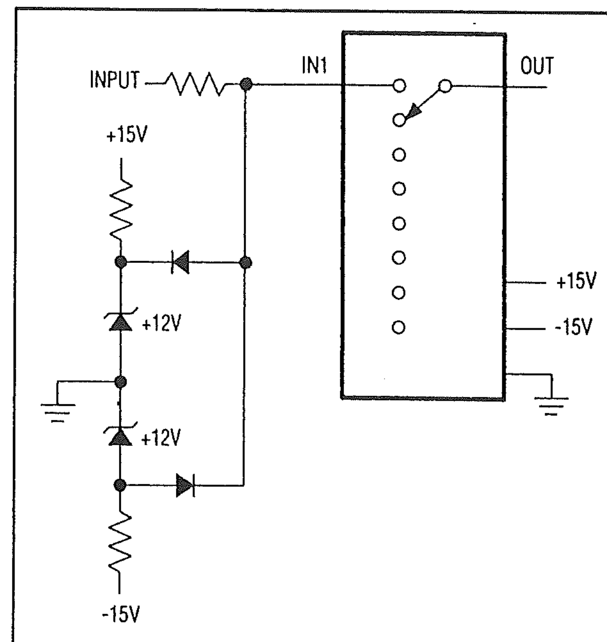
Figuur 3/13.1-5: Het blokschema van een analoge schakelaar in CMOS-technologie.

Latch-up

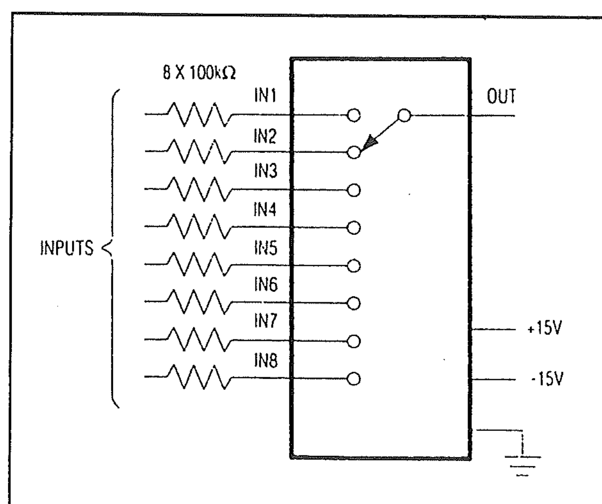
Dergelijke analoge schakelaars hebben echter een gevaarlijke eigenschap, de zogenoemde "latch-up". Als de analoge ingangsspanning bij dergelijke IC's even groter of lager wordt dan een van de voedingsspanningen, dan zal de schakelaar

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

ofwel in de geopende ofwel in de gesloten stand bevriezen. De enige methode om deze situatie op te lossen is het even onderbreken van de voedingsspanning. Bij CMOS-schakelingen moet men dus voorzieningen treffen om te vermijden dat de analoge spanningen groter of kleiner kunnen worden dan de voedingsspanningen. In figuur 3/13.1-6 is een voorbeeld getekend van een ingangsbeveiliging, die er voor zorgt dat de ingangsspanning onder geen omstandigheid groter kan worden dan +12,6 V of kleiner dan -12,6 V. De ingangsspanning wordt via een serieweerstand aangesloten op de analoge ingang van het IC, maar ook op een diode/weerstand netwerkje. De twee Si-dioden sperren zolang de ingangsspanning binnen de genoemde grenzen blijft. Bij overschrijding gaat een van de dioden geleiden, waardoor er een stroom door de serieweerstand vloeit en de daardoor veroorzaakte spanningsval er voor zorgt dat aan de condities voldaan blijft. Deze schakeling heeft uiteraard wel als nadeel dat de inwendige weerstand van de schakelaar in gesloten toestand nu voornamelijk wordt bepaald door de serieweerstand en dat deze weerstand met paracitaire capaciteiten aan de uitgang een laagdoorlaat filter vormt. Een tweede beveiligingssysteem tegen latch-up is getekend in figuur 3/13.1-7. Dit systeem wordt aanbevolen bij analoge multiplexers, omdat deze oplossing veel minder externe onderdelen vergt. Iedere ingangsspanning wordt via een vrij hoge serieweerstand op de analoge ingangen van de multiplexer aangesloten. De beveiliging komt tot stand via de in het IC aanwezige halfgeleiders, met name de PN-juncties achter de ingangen. Lage weerstandswaarden minimaliseren de geïntroduceerde fouten, maar vergroten de stromen die in het IC verwerkt moeten worden als de ingangsspanningen te groot worden.

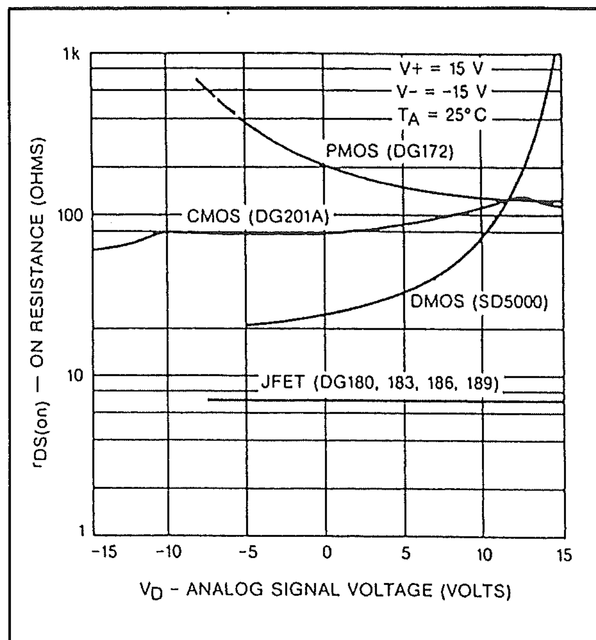


Figuur 3/13.1-6: Het beveiligen van de ingangen van een analoge schakelaar tegen latch-up.



Figuur 3/13.1-7: Het beveiligen van analoge multiplexers door identieke serieweerstanden in alle analoge ingangslijnen.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



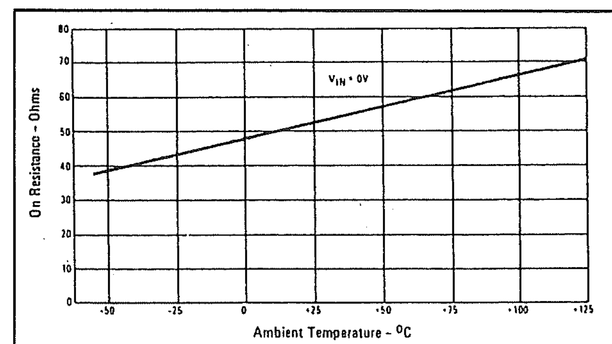
Figuur 3/13.1-8: Het verloop van de AAN-weerstand voor diverse technologieën en in functie van de analoge ingangsspanning.

Moderne technologieën

Moderne analoge schakelaars maken gebruik van de JFET- of BIFET-technologieën, waarbij het verschijnsel van de latch-up niet kan optreden. Bovendien zijn dergelijke schakelingen minder gevoelig voor te hoge ingangsspanningen. Nieuwe ontwikkelingen zijn de zogenoemde "POLYMOS"- en "METALGATE"-technologieën. Dergelijke IC's hebben superieure eigenschappen, waaronder zeer korte schakeltijden.

De AAN-weerstand

Een van de belangrijkste eigenschappen van een analoge schakelaar is de AAN-weerstand. In theorie zou deze weerstand 0 Ω moeten zijn, maar het zal duidelijk zijn dat deze situatie alleen benaderd kan worden. Hoe lager echter deze weerstand, hoe meer het IC de ideale mechanische schakelaar benadert. De AAN-weerstand is van een heleboel factoren afhankelijk. Zo speelt de gebruikte technologie een belangrijke rol, maar ook de grootte van de analoge ingangsspanning en de temperatuur. Ter indicatie wordt in figuur 3/13.1-8 een grafiekje gegeven, waarbij het verloop van de AAN-weerstand voor diverse technologieën en ingangsspanningen wordt getekend. In figuur 3/13.1-9 is de invloed van de temperatuur op de AAN-weerstand gegeven, bij een ingangsspanning van 0 V. Hieruit blijkt dat deze parameter ongeveer verdubbelt over het toegelaten temperatuurbereik van de analoge schakelaar.

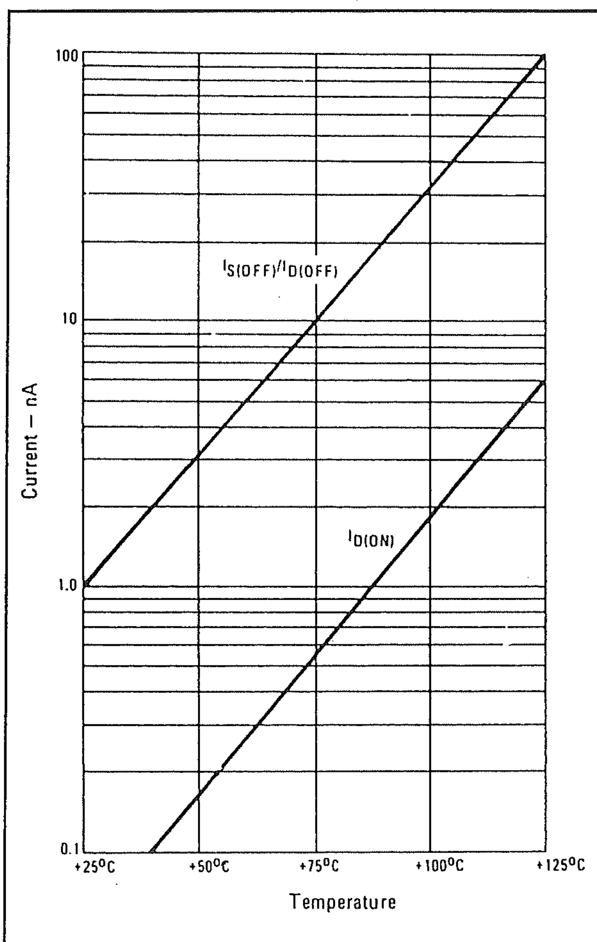


Figuur 3/13.1-9: De invloed van de temperatuur op de AAN-weerstand.

Lekstromen

In de ideale situatie zou de schakelaar in open toestand een oneindig hoge weerstand moeten hebben. In de praktijk is dat natuurlijk niet het geval, zodat er door de geopende schakelaar een lekstroom van de in- naar de uitgang vloeit. Hoewel deze stromen zeer laag zijn, kunnen zij bij sommige toepassingen toch vervelend zijn. Bij de meeste schakelaars liggen deze lekstromen in het nA-bereik, hoewel bij verhoogde temperatuur waarden tot 200 nA kunnen voorkomen. Om geen last van deze stromen te hebben wordt aanbevolen de analoge uitgangen niet extreem hoogohmig af te sluiten. De zeer lage lekstro-

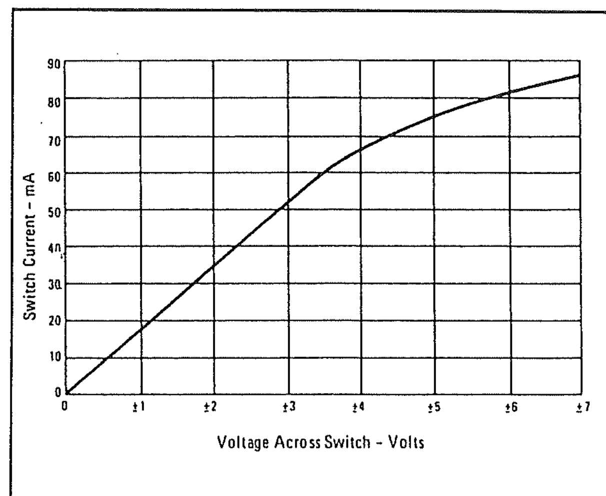
men kunnen over de hoogohmige belasting namelijk toch niet te verwaarlozen spanningen opbouwen, waarvan er van een goede AAN/UIT-werking natuurlijk niet veel overblijft! In figuur 3/13.1-10 is de invloed van de temperatuur op de lekstroom grafisch weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat deze parameter met een factor 1.000 kan variëren in functie van de temperatuur.



Figuur 3/13.1-10: De invloed van de temperatuur op de lekstroom.

De schakelstroom

Het zal wel zonder meer duidelijk zijn dat analoge schakelaars *geen grote stromen* kunnen schakelen! De maximale stromen die de analoge schakelaars kunnen verwerken liggen in het mA-bereik. De analoge uitgangen van de IC's moeten dus steeds afgesloten worden met weerstanden in het kΩ-bereik om de maximale schakelaarstromen niet te overschrijden. De grootte van de geschakelde stroom beïnvloedt de AAN-weerstand van de analoge schakelaar op een niet-Ohmse manier. Zoals uit figuur 3/13.1-11 blijkt, gedraagt een analoge schakelaar zich in gesloten toestand als een niet-lineaire weerstand. Tot en met stromen van +/-50 mA is het gedrag zeer lineair te noemen. Bij stijgende stromen zal de relatieve weerstand per mA echter steeds meer dalen, hetgeen zich uit in een langzamere toename van de restspanning over de gesloten schakelaar.



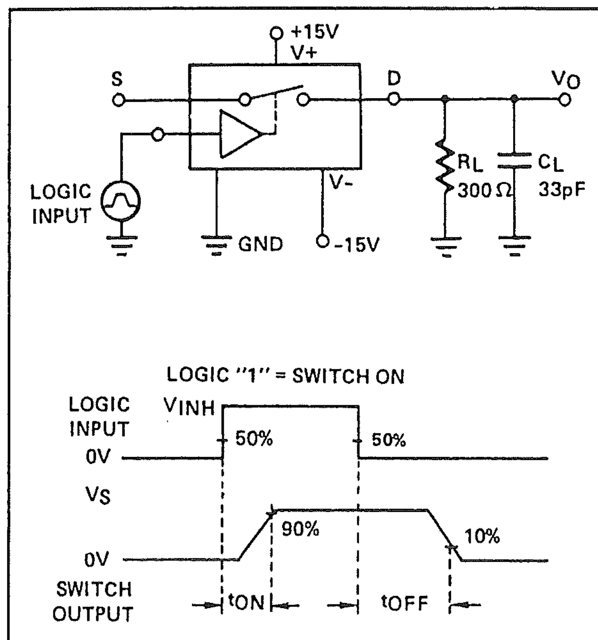
Figuur 3/13.1-11: De invloed van de schakelstroom op de AAN-weerstand van een analoge schakelaar.

Schakeltijden

Er verloopt een bepaalde tijd tussen het omschakelen van het digitaal stuursignaal en het omschakelen van de schakelaar. Deze tijden noemt men de schakeltijden

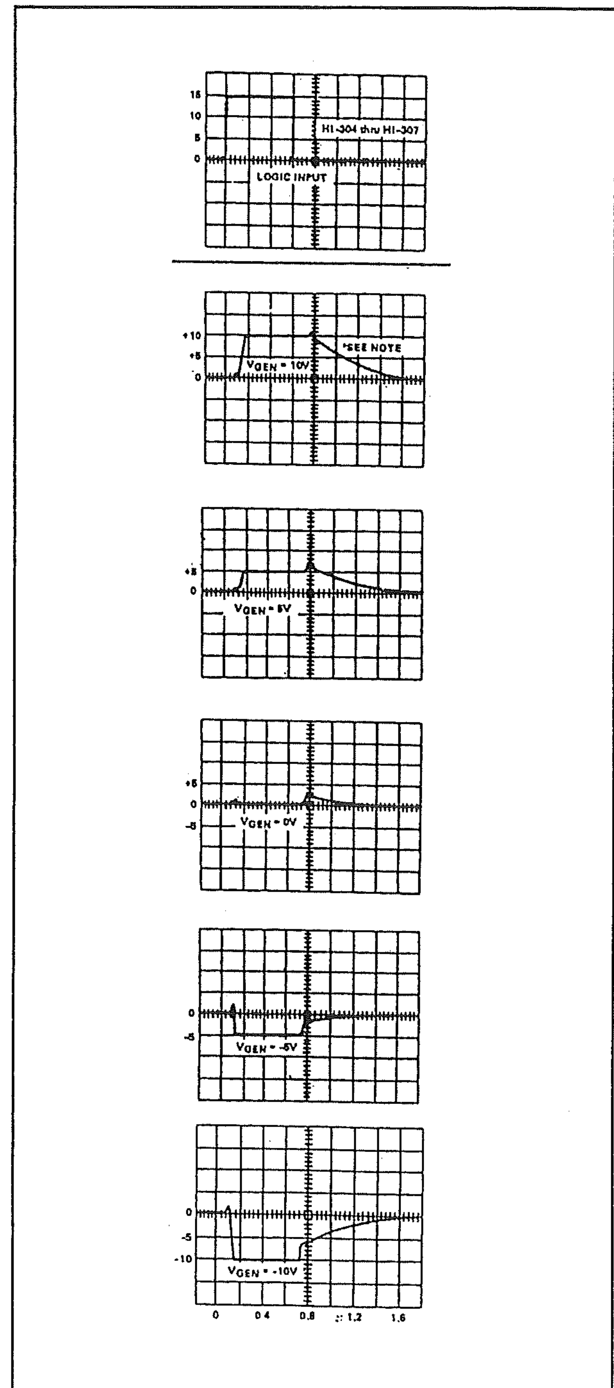
13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

van het IC. CMOS-schakelaars hebben vrij lange schakeltijden, in het µs bereik. De moderne uitvoeringen schakelen heel wat sneller, tijden van 100 ns zijn geen uitzonderingen. De definitie van de begrippen T_{ON} en T_{OFF} volgt uit figuur 3/13.1-12.



Figuur 3/13.1-12: De schakeltijden van een analoge schakelaar.

De schakeltijden worden niet alleen bepaald door de eigenschappen van het IC zélf, maar uiteraard ook door de mate van capacitieve belasting en vreemd genoeg ook door de grootte van de analoge ingangsspanning. Dit verband wordt in figuur 3/13.1-13 gegeven voor een specifiek IC van de HI-3xx familie. In de bovenste grafiek is het verloop van de digitale stuurspanning getekend. Nadien volgen vijf grafiekjes, die de uitgangsspanningen geven voor ingangsspanningen van respectievelijk +10 V, +5 V, 0 V, -5 V en -10 V.



Figuur 3/13.1-13: De invloed van de grootte van de ingangsspanning op de schakeltijden en de vorm van de analoge uitgangsspanning.

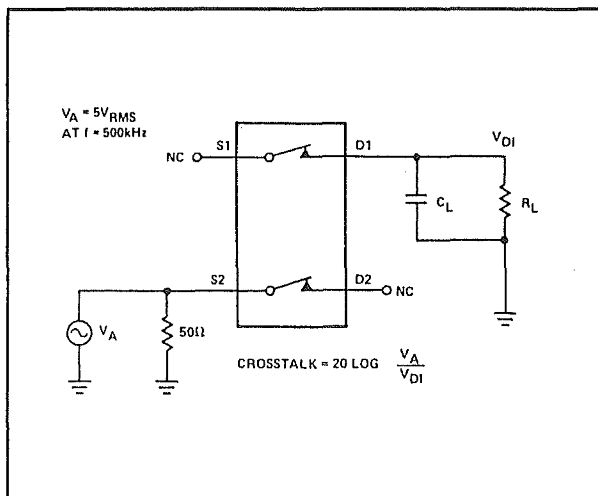
13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

Charge injection

Duidelijk blijkt dat zelfs bij 0 V aan de ingang er toch een bepaalde uitgangsspanning ontstaat. Dit is de digitale crosstalk, ook wel "charge injection" genoemd, het verschijnsel dat een deel van de digitale stuurspanning capacitief doordringt tot de analoge in- en/of uitgangen. De schakeltijden worden meestal opgegeven bij een Ohmse belasting op de uitgang van 500 Ω en een capacitieve belasting tussen 20 pF en 35 pF.

De isolatie

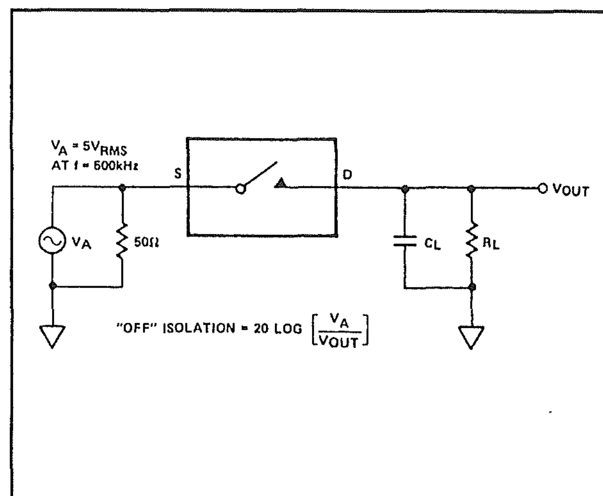
De isolatie geeft de logaritmische verhouding van de ingangsspanning tot de uitgangsspanning bij geopende schakelaar en bij een bepaalde belasting op de uitgang en frequentie van de ingangsspanning. Deze parameter wordt uitgedrukt in dB en wordt volledig gedefinieerd door de gegevens die in figuur 3/13.1-14 zijn opgenomen.



Figuur 3/13.1-14: De definitie van de parameter "isolatie" van een schakelaar.

De analoge crosstalk

De analoge crosstalk geeft de logaritmische verhouding tussen de ingangsspanning op een gesloten schakelaar en de uitgangsspanning op een in het zelfde IC aanwezige andere gesloten schakelaar, waarvan de ingang open wordt gelaten. Deze parameter definieert dus in feite niets anders dan de "overspraak" tussen naast elkaar gelegen schakelaars. Ook deze parameter wordt in dB uitgedrukt en wordt volledig gedefinieerd door de gegevens in figuur 3/13.1-15.



Figuur 3/13.1-15: De definitie van de parameter "crosstalk" bij schakelaars.

Vergelijking van specificaties

In de tabel van figuur 3/13.1-16 worden de voornaamste specificaties en eigenschappen van twee analoge schakelaars, uitgevoerd in respectievelijk CMOS- en BIFET-technologie, vergeleken.

Configuraties

Inleiding

Analoge schakelaars worden in een groot aantal schakelaarconfiguraties op de markt gebracht. Deze configuraties worden aangegeven met afkortingen van Engelse begrippen, waarvan de voornaamste in het kort worden toegelicht.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

	CMOS-schakelaar		BIFET-schakelaar	
	t_a = 25 °C	t_a = –55...125 °C	t_a = 25 °C	t_a = –55...125 °C
R_{ON}	100 Ω (max.)	175 Ω (max.)	75 Ω (max.)	100 Ω (max.)
R_{ON} variatie t.o.v. analoge U_{in}	40%		6%	
R_{ON} drift				0,4% /°C
I_{Doff}	3 nA (max.)	200 nA (max.)	1 nA (max.)	90 nA (max.)
I_{Don}	10 nA		1 nA (max.)	90 nA (max.)
t_{on}	1 µs (max.)		450 ns (max.)	600 ns (max.)
t_{off}	1 µs (max.)		300 ns (max.)	500 ns (max.)
$I_{voeding}$		800 µA (pos. voed.)	9 mA (pos. voed.)	13 mA (pos. voed.)
		800 µA (neg. voed.)	5 mA (neg. voed.)	7,5 mA (pos. voed.)

Figuur 3/13.1-16: De specificaties van analoge schakelaars in CMOS- en BIFET-technologie vergeleken.

NO, NC

Bij de specificaties van analoge schakelaars zal men steeds de afkortingen "NO", "NC" aantreffen. "NO" staat voor "normally open". Dat betekent dat de schakelaar in rust, dus met digitaal stuursignaal "L", geopend is en sluit als met de stuurspanning "H" maakt. "NC" staat dan uiteraard voor "normally closed", waarmee wordt aangegeven dat het contact gesloten is bij een lage stuurspanning.

SPST, DPDT, SPDT, DPST

De afkortingen "SPST", "DPDT", "SPDT" en "DPST" staan voor schakelaarconfiguraties. Dat zijn de afkortingen van:

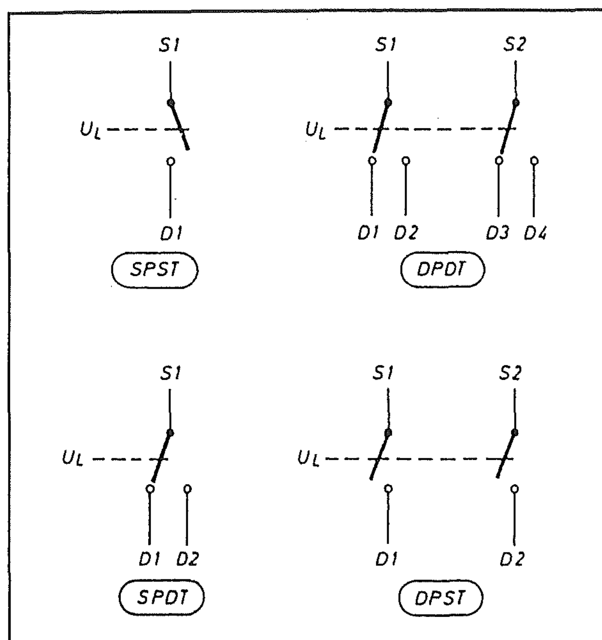
- "Single Pole Single Trow";
- "Dual Pole Dual Trow";
- "Single Pole Dual Trow";
- "Dual Pole Single Trow".

De betekenis van deze configuraties kan samengevat worden met figuur 3/13.1-17.

Universele schakelaar

Een heleboel analoge schakelaars zijn zo geconfigureerd, dat het mogelijk is de vier basisconfiguraties met dit ene IC uit te voeren. Dergelijke IC's, waarvan in figuur 3/13.1-18 een typische vertegenwoordiger is getekend, hebben vier enkelvoudige AAN/UIT-schakelaars, die ieder door een eigen digitaal signaal gestuurd wor-

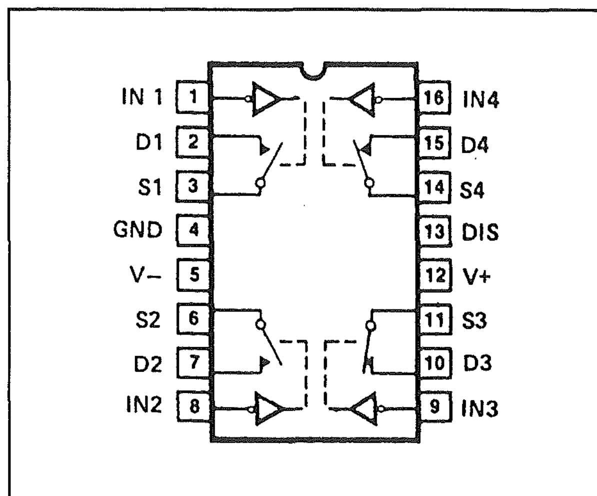
den. Door het met elkaar verbinden van pennen van het IC kan men ieder van de vier basisconfiguraties samenstellen, zoals bewezen wordt door de tekeningen in figuur 3/13.1-19.



Figuur 3/13.1-17: De vier basisconfiguraties van schakelaar-IC's worden aangeduid door de codes "SPST", "DPDT", "SPDT" en "DPST".

MBB, BBM

De afkortingen MBB en BBM staan voor respectievelijk "Make Before Break" en "Break before Make". Het zijn twee termen die bij enkelvoudige omschakelaars worden gebruikt en aangeven of het rustcontact eerst wordt verbroken alvorens het werkcontact wordt gesloten (BBM) of dat het werkcontact eerst wordt gesloten alvorens het rustcontact wordt verbroken (MBB). Bij het laatste soort schakelaars zullen de drie contacten van de omschakelaar dus heel even met elkaar verbonden zijn. BBM-uitvoeringen zijn de standaard typen. MBB-schakelaars hebben speciale toepassingen.



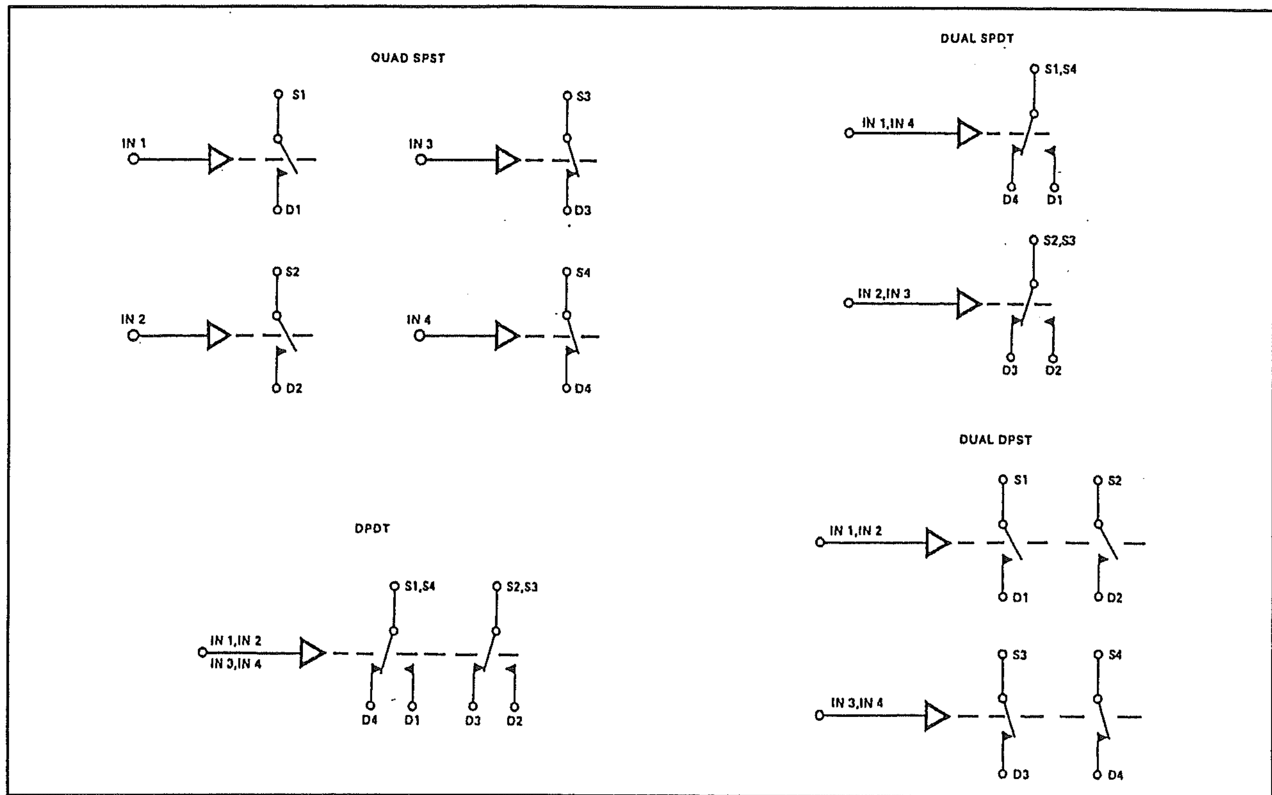
Figuur 3/13.1-18: Een analoge schakelaar, waarmee de vier basisconfiguraties kunnen worden samengesteld.

Werken met analoge schakelaars

Inleiding

Analoge schakelaars worden in de praktijk voornamelijk gebruikt voor het schakelen van ingangsbronnen naar een analoog elektronisch systeem en voor het instellen van versterkingsfactoren van operationele versterkers. Ook in data acquisitie systemen (DAS) kunnen analoge schakelaars echter goede diensten bewijzen. Bij het ontwerpen van dergelijke schema's moet echter terdege rekening worden gehouden met de specificaties van elektronische schakelaars. Daarbij zijn het voornamelijk de invloeden van de AAN-weerstand en de lekstroom die het verschil tussen theorie en praktijk bepalen.

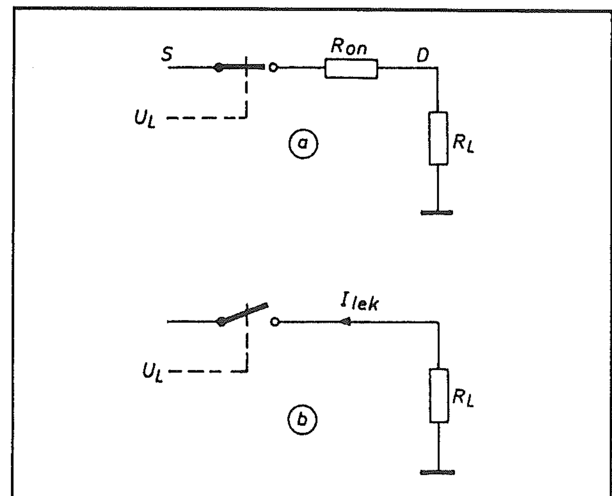
13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-19: De vier basisconfiguraties met het IC van figuur 3/13.1-18.

Belasten van de schakelaar

In figuur 3/13.1-20 is een elektronische schakelaar getekend, die in serie staat met een belastingsweerstand R_L. De weerstand R_{on} is de AAN-weerstand van de elektronische schakelaar. In de gesloten toestand (a) staat de AAN-weerstand R_{on} in serie met de belastingsweerstand. In deze situatie moet R_L zo groot mogelijk gekozen worden. Er ontstaat immers een spanningsdeler en een gedeelte van het ingangssignaal zal over de AAN-weerstand vallen. Dit deel is onder meer afhankelijk van de temperatuur en de grootte van het signaal, waardoor een niet te compenseren fout ontstaat. Hoe groter R_L, hoe kleiner deze fout zal zijn. Als de schakelaar echter geopend is (b) zal de lekstroom over de belastingsweerstand een spanningsval opbouwen.



Figuur 3/13.1-20: De invloeden van de AAN-weerstand en de lekstroom van een elektronische schakelaar.

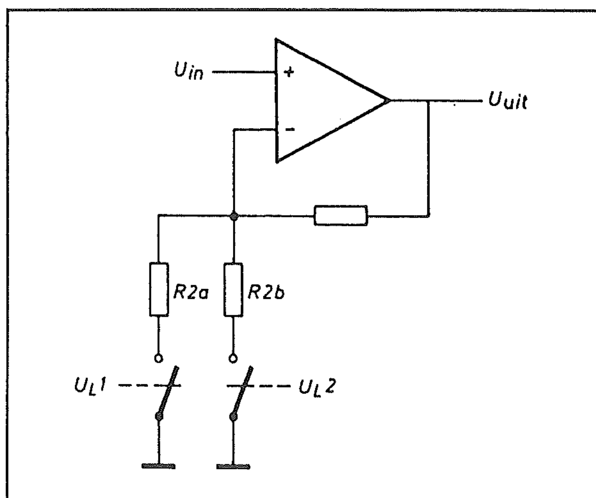
Hoe kleiner R_L, hoe kleiner deze offsetspanning. Men stelt dus vast dat de weer-

stand R_L aan twee tegengestelde eisen moet voldoen, zodat er in de praktijk naar een compromis gestreefd zal worden.

Programmeerbare versterkers

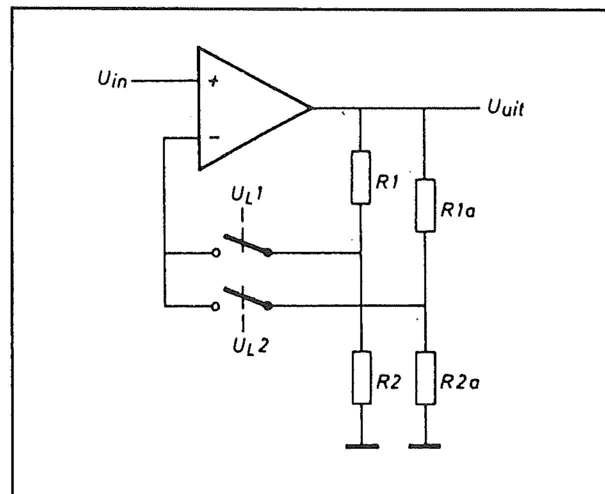
Eerste voorbeeld

In figuur 3/13.1-21 is het eenvoudigste schema getekend van een programmeerbare versterker. Twee elektronische schakelaars schakelen een van de weerstanden R2 naar de massa, waardoor de versterking van de operationele versterker op vier waarden kan worden ingesteld. De AAN-weerstand van de elektronische schakelaars zal nu echter rechtstreeks invloed uitoefenen op de waarde van de versterkingsfactor.

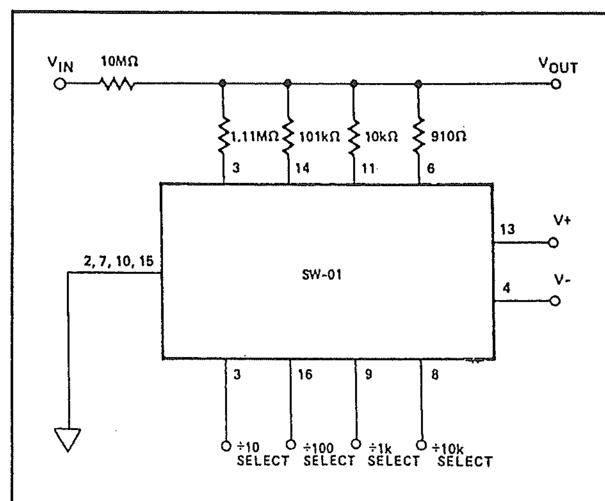


Figuur 3/13.1-21: Het eenvoudigste schema van een op-amp met instelbare versterkingsfactor.

Ook de lekstroom veroorzaakt in de weerstand R2 die uitgeschakeld is een paracitaire stroom, die de waarde van de versterkingsfactor beïnvloedt. Een oplossing van deze problemen wordt gegeven in figuur 3/13.1-22. De versterkingsfactoren worden nu bepaald door twee weerstandsdelers R1/R2 en R1a/R2a. De AAN-weerstanden van de elektronische schakelaars staan nu in serie met de zeer hoge ingangsimpedantie van de inverterende ingang en zijn verwaarloosbaar. De lekstromen kunnen echter nog steeds een fout veroorzaken.

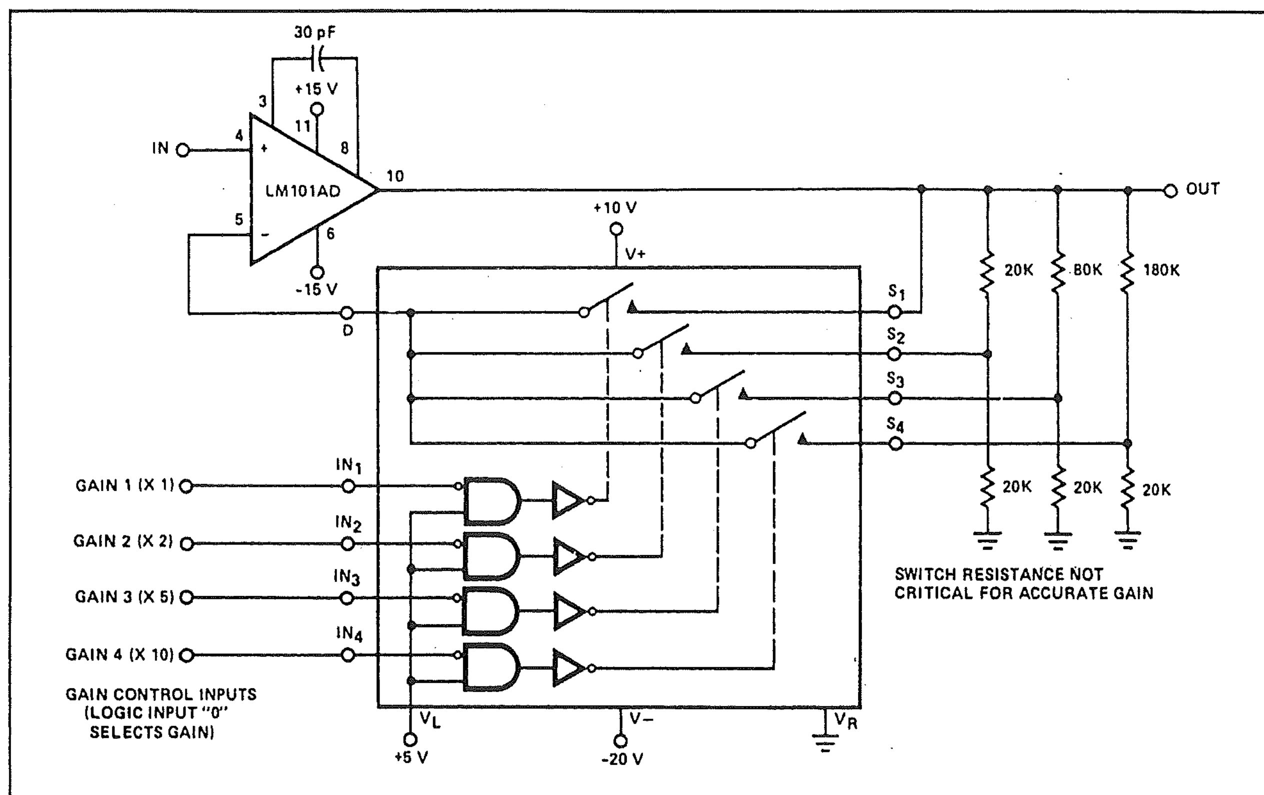


Figuur 3/13.1-22: Een betere oplossing voor het instellen van de versterkingsfactor van een op-amp.



Figuur 3/13.1-23: Een eenvoudig voorbeeld van een passieve verzwakker.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-24: Het praktisch schema van een niet-inverterende programmeerbare versterker.

Passieve schakeling

In figuur 3/13.1-23 is het eenvoudigst schema getekend van een verzwakker, waarbij de verzwakking ingesteld kan worden op 1, 10, 100, 1.000 en 10.000. Er wordt gebruik gemaakt van een viervoudige analoge schakelaar, waarvan alle moedercontacten met de massa verbonden zijn en de overige contacten steeds een andere weerstand naar de massa schakelen. Tussen de vaste weerstand van 10 MΩ en de massa wordt dus een instelbare spanningsdeler gevormd, waarbij de juiste dimensionering van de vier weerstanden zorgt voor de gegeven verzwakking. Als alle schakelaars open blijven, zal de schakeling niet verzwakken en is de versterking dus gelijk aan de eenheid. In de twee hoogste verzwakkerstanden moet men echter rekening houden met fouten die worden veroorzaakt door de niet in de hand te houden AAN-weerstand van de schakelaars.

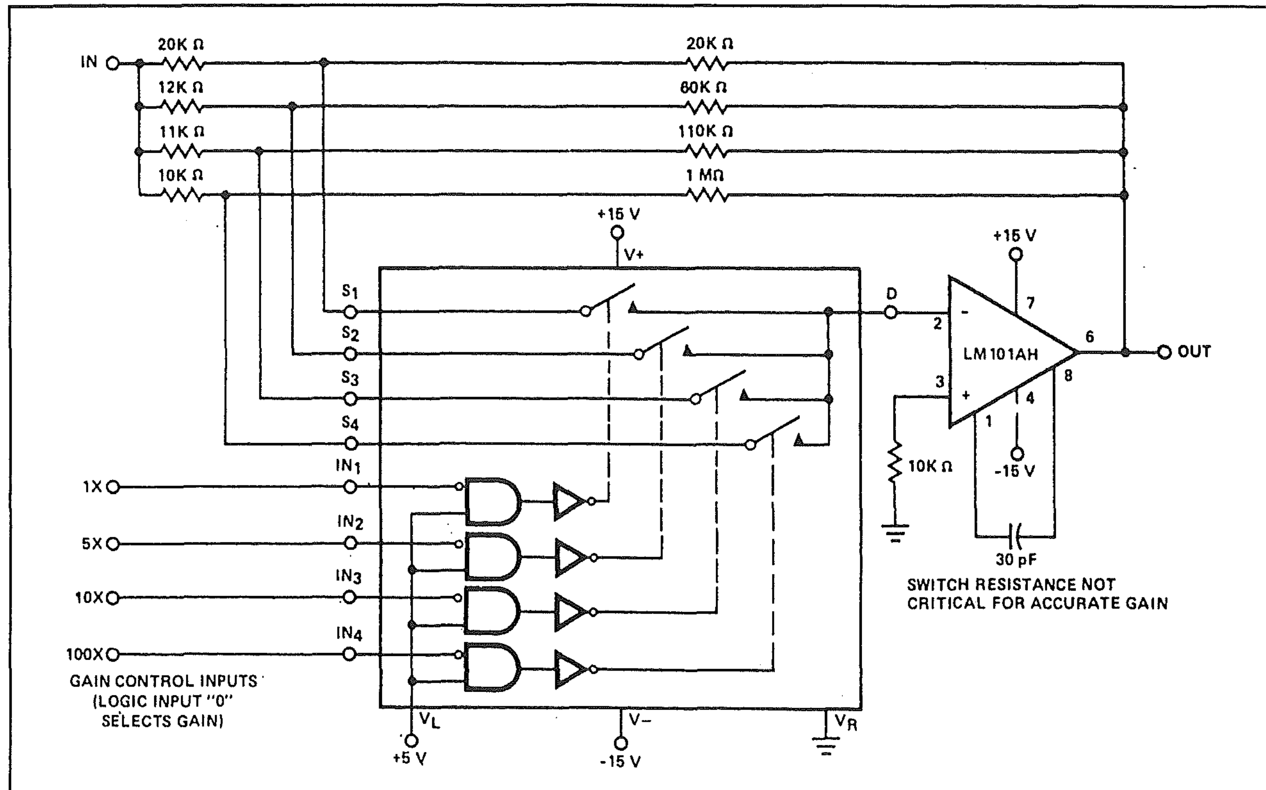
Niet-inverterende versterker

In figuur 3/13.1-24 is een praktische schakeling getekend die werkt volgens het principe van figuur 3/13.1-22. De schakeling is een niet-inverterende versterker, waarvan de versterkingsfactor instelbaar is op 1, 2, 5 en 10. De besturingsingangen moeten gestuurd worden met logisch "L". Het is wel noodzakelijk dat steeds één ingang "L" is, zoniet zal de schakeling in open lus gaan werken en instabiel worden. De schakeling heeft een constante, hoge ingangsimpedantie.

Inverterende versterker

Dezelfde techniek kan uiteraard ook toegepast worden voor het samenstellen van een inverterende versterker.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-25: Het praktisch schema van een inverterende programmeerbare versterker.

Het schema is getekend in figuur 3/13.1-25. De vier weerstandsdelers zijn nu opgenomen tussen de signaalingang en de uitgang van de operationele versterker. De knooppunten worden door middel van de elektronische schakelaars naar de inverterende ingang van de op-amp geschakeld. De versterkingsfactor kan, door middel van een "L" op een van de vier besturingsingangen, ingesteld worden op 1, 5, 10 en 100. Uiteraard heeft deze schakeling geen constante ingangsimpedantie. Deze is afhankelijk van de geprogrammeerde versterkingsfactor.

Binair naar 10^n versterker

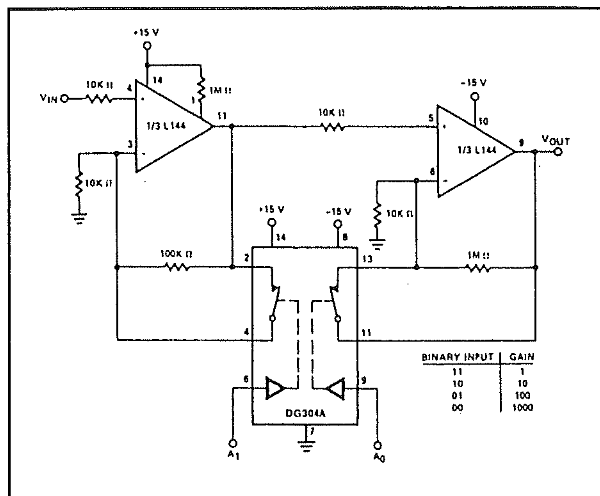
In figuur 3/13.1-26 is een schema getekend van een niet-inverterende tweetrapsversterker, waarvan de versterkingsfactor via twee binaire besturingssignalen ingesteld kan worden op machten van tien. De twee trappen kunnen door middel van een analoge schakelaar ingesteld worden op een versterkingsfactor van 1 (gesloten schakelaar), tien (links) of honderd (rechts). Door de combinatie van beide trappen ontstaan dus versterkingsfactoren van 1, 10, 100 en 1.000. Ook deze schakeling wordt symmetrisch gevoed, zodat zonder problemen symmetrische ingangssignalen te verwerken zijn.

Uitbreiding met multiplexer

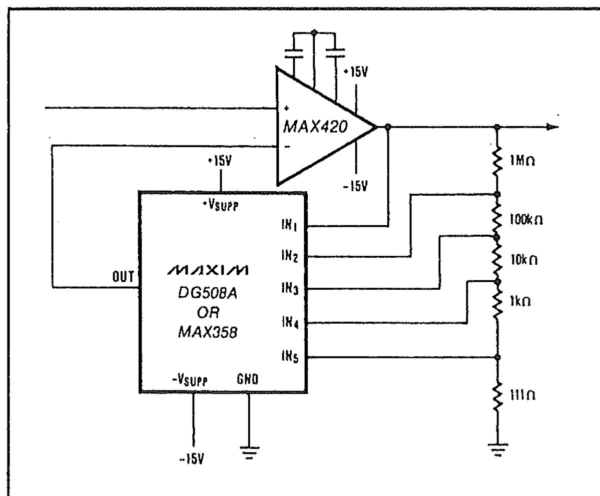
De besproken systemen om, door middel van analoge schakelaars de versterking van een op-amp in te stellen, zijn uiteraard uitbreidbaar door enkelvoudige schakelaars te vervangen door meerkanaals multiplexers. Als voorbeeld wordt in figuur 3/13.1-27 een programmeerbare verster-

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

ker getekend, waarbij de versterking in vijf stappen instelbaar is tussen 1 en 10.000.



Figuur 3/13.1-26: Een binair op machten van tien in te stellen programmeerbare versterker.

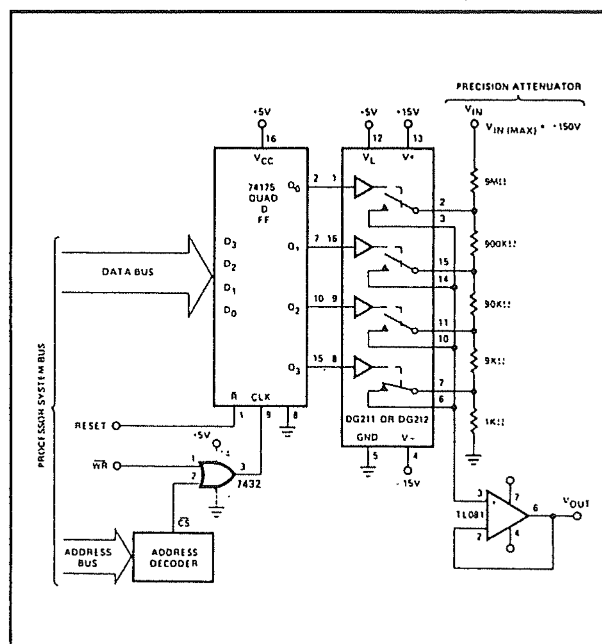


Figuur 3/13.1-27: Een in vijf standen in te stellen programmeerbare versterker, waarbij gebruik wordt gemaakt van een analoge multiplexer.

Hiervoor is, door gebruik te maken van een multiplexer, slechts één schakelaar-IC noodzakelijk.

De digitale besturing is niet getekend, maar kan via de in de multiplexer geïntegreerde binair naar decimaal omzetter rechtstreeks uit een binaire code gegenereerd worden.

Microprocessor besturing
Analoge schakelaars zijn ideale onderdelen om programmeerbare versterkers of verzwakkers uit een microprocessor te besturen. In figuur 3/13.1-28 is een voorbeeldje getekend. Deze schakeling is een verzwakker, waarbij de verzwakking instelbaar is op 10, 100, 1.000 en 10.000.



Figuur 3/13.1-28: Een microprocessor bestuurde decimale verzwakker.

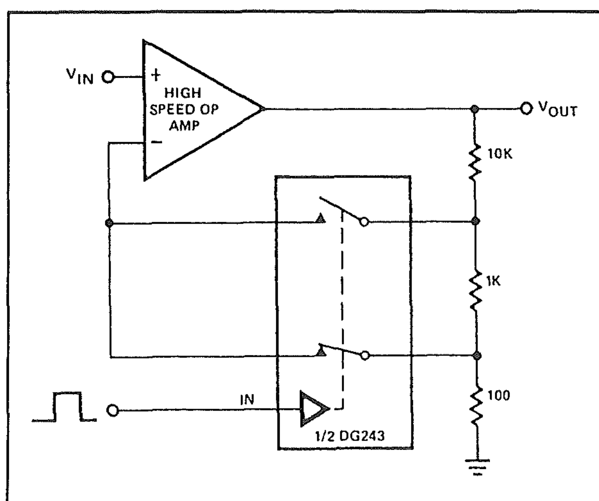
De verzwakker is passief en wordt afgesloten met een als buffer geschakelde operationele versterker. Nadat de adresdecoder het juiste adres van de adresbus heeft gelezen en het W/$\overline{R}$-signaal van de processor geactiveerd is, wordt de vier bit brede data van de databus in een quad latch gelezen. Deze digitale code definieert de

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

verzwakking. Met enige modificaties is een dergelijke schakeling te gebruiken voor automatische bereikenomschakelaars van digitale meetsystemen.

Make before break

Bij de tot nu toe behandelde schakelingen blijven eventuele overgangsverschijnselen bij het omschakelen van de analoge schakelaars buiten beschouwing. Deze kunnen echter voor problemen zorgen! Het kan bijvoorbeeld gebeuren dat twee schakelaars even gelijktijdig open staan, waardoor de schakeling rond de operationele versterker zich ongecontroleerd gaat gedragen. Om dit te vermijden kan men het systeem van figuur 3/13.1-29 toepassen. Hierbij wordt een analoge schakelaar toegepast, de DG243, die een MBB-type is. De bovenste schakelaar sluit gegarandeerd, alvorens de onderste opent. Hierdoor wordt in ieder geval vermeden dat de operationele versterker even in open lus werkt.



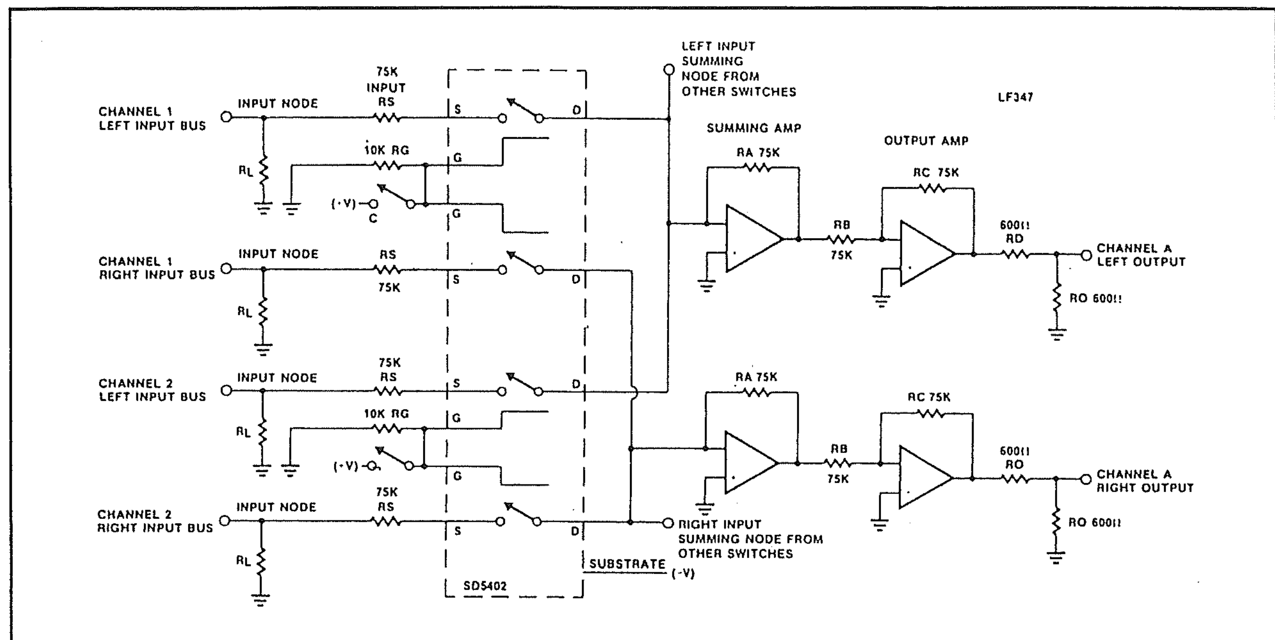
Figuur 3/13.1-29: Door een analoge schakelaar met MBB-actie toe te passen is men er zeker van dat de operationele versterker nooit in een open lus situatie kan verkeren.

Ingangsbronnen schakelen

Audiobronnen

Analoge schakelaars zijn ideale IC's voor het schakelen van gevoelige audiobronnen. De besturingssignalen kunnen immers op afstand worden gegenereerd en de gevoelige audiosignalen kunnen zo dicht mogelijk bij hun versterkers worden geschakeld door middel van analoge schakelaars. In figuur 3/13.1-30 wordt het algemeen bruikbare schema voor dergelijke toepassingen gegeven.
Vier analoge schakelaars uit een SD5402 worden gebruikt om vier audiosignalen naar de ingangen van twee audioversterkers te schakelen. Het schakelen komt tot stand door de besturingsingangen G van de analoge schakelaars ofwel met de positieve voeding te verbinden, ofwel met de massa. Dat kan met enkelvoudige tuimelschakelaars als men een weerstandje van 10 kΩ tussen de G-ingangen en de massa opneemt. Met open schakelaars liggen de G-ingangen dan via deze weerstanden aan de massa, met gesloten schakelaars worden de G-ingangen met de voeding verbonden. De analoge schakelaars worden afgesloten met sommeerversterkers, die werken met virtueel massapunt. De ingangsweerstanden van 75 kΩ zijn de mengweerstanden en het systeem kan zeer eenvoudig worden uitgebreid tot meerdere ingangen. Het volstaat deze extra ingangen steeds via soortgelijke weerstanden en nieuwe analoge schakelaars met het sommeerpunt te verbinden. De sommeerversterkers worden afgesloten met inverterende -1 versterkers, zodat er geen fasedraaiïng bestaat tussen de in- en uitgangssignalen.

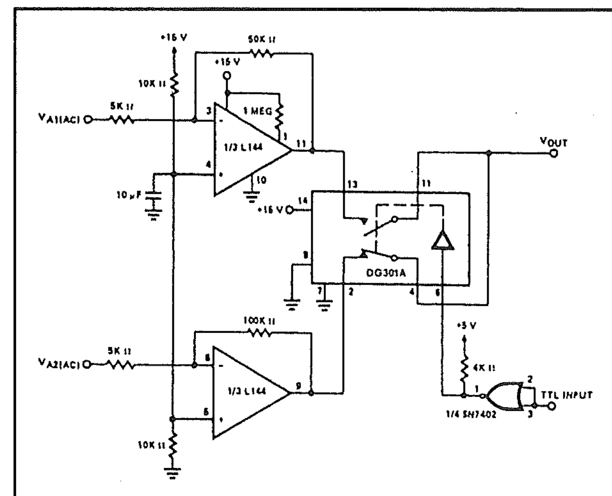
13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-30: Het algemeen bruikbare systeem om audiosignalen te schakelen met analoge schakelaars.

Schakelen aan de uitgang

Uiteraard is het ook mogelijk te schakelen aan de uitgang. Bij dit systeem krijgt ieder ingangssignaal een eigen voorversterker en worden de laagimpedante uitgangen via analoge schakelaars met een gemeenschappelijke uitgang verbonden. Het basisschema van deze techniek is getekend in figuur 3/13.1-31. In het getekende schema wordt gebruik gemaakt van enkelvoudige voeding. De niet-inverterende ingangen van beide operationele versterkers worden door middel van een 1/1 weerstandsdeler ingesteld op de helft van de voedingsspanning. Ook de analoge schakelaar wordt asymmetrisch gevoed. De schakelaar kan, ondanks de systeemvoeding van +15 V, toch bestuurd worden met een standaard TTL-signaal. Uiteraard zal men bij de meeste toepassingen scheidingscondensatoren in serie met de ingangen moeten opnemen, om te verhinderen dat de instelspanningen op de inverterende ingangen afvloeien naar de massa.

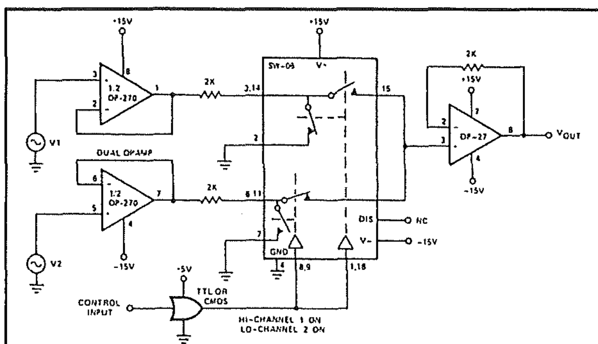


Figuur 3/13.1-31: Het schakelen van audio signalen na voorversterking.

Onderdrukken overspraak

Ook bij dergelijke toepassingen kan men te maken krijgen met de overspraak, die ontstaat als gevolg van de lekstromen van

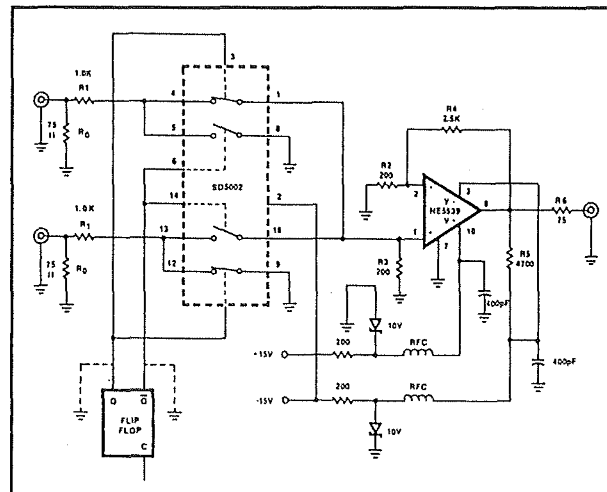
analoge schakelaars. In open toestand hebben de schakelaars immers geen oneindig hoge weerstand, zodat delen van het niet geselecteerde analoge ingangssignaal toch tot de mengrail kunnen doordringen. Om dit probleem te voorkomen kan men het systeem van figuur 3/13.1-32 toepassen. Voorwaarde is wel dat ieder audiosignaal een eigen voorversterker krijgt, bijvoorbeeld een eenvoudige buffertrap. De uitgangen van deze buffers gaan via kleine serieweerstanden (in het voorbeeld 2 kΩ) naar de getekende schakelaarconfiguratie. In feite wordt iedere uitgang aangesloten op een omschakelaar, die de uitgang ofwel doorschakelt naar de ingang van de eindversterker, ofwel naar de massa. Op deze manier kunnen de niet geselecteerde audiobronnen nooit of te nimmer doordringen tot de uitgang. De signalen worden immers volledig kortgesloten naar de massa en alleen het geselecteerde signaal zal via de gesloten schakelaar aan de ingang van de eindversterker verschijnen.



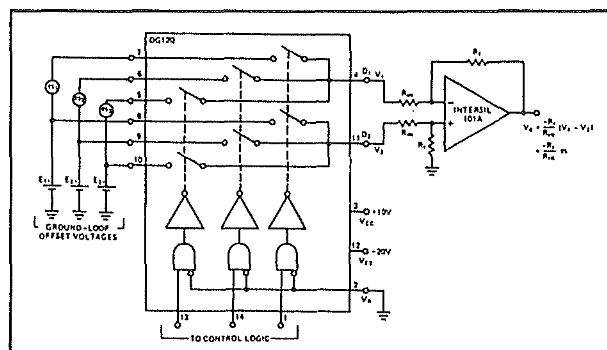
Figuur 3/13.1-32: Een systeem om de overspraak tussen de audiobronnen te onderdrukken.

Hetzelfde voor video

Op precies dezelfde manier kan men op afstand videosignalen schakelen. Voor dergelijke breedbandige signaalbronnen is dit zelfs noodzaak, omdat men anders capacitieve overspraak absoluut niet in de hand kan houden. Natuurlijk moet men dan wél componenten gebruiken die een voldoende grote bandbreedte hebben. Het basisschema voor een tweekanaals videoschakelaar is getekend in figuur 3/13.1-33. De afsluitweerstanden R_0 moeten worden aangepast aan de kabelimpedanties.

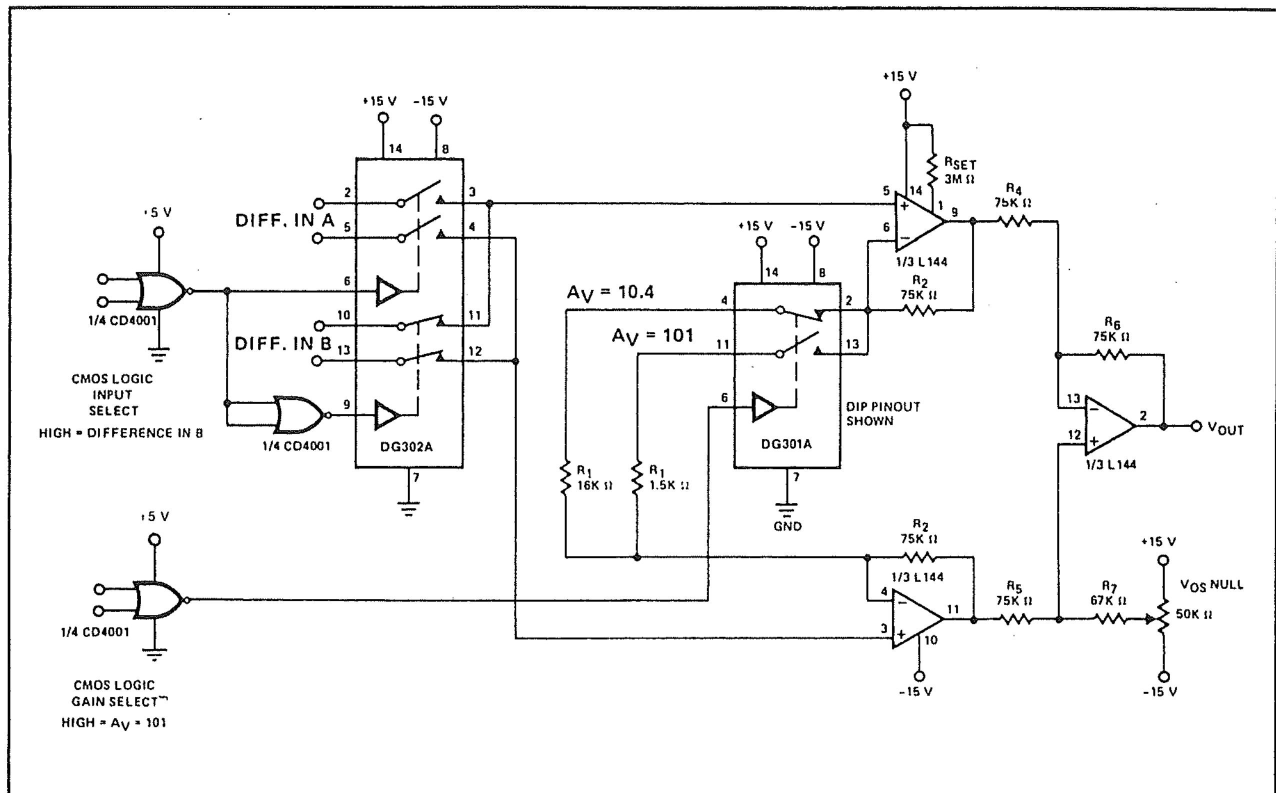


Figuur 3/13.1-33: Een video-omschakelaar met twee ingangen, volgens het principe van figuur 3/13.1-32.



Figuur 3/13.1-34: Een eenvoudige schakeling, waarbij één analoog schakelaar IC drie symmetrische signalen doorkoppelt naar de ingangen van een verschilversterker.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-35: Een instrumentatie versterker met twee differentiële ingangen en instelbare versterkingsfactor.

Het signaalverlies over de weerstanden van 1 kΩ wordt weer gecompenseerd door de versterking van de achtergeschakelde breedbandige versterker rond de NE5539.

Instrumentatie versterkers

Basisschakeling

Ook bij instrumentatie versterkers kunnen analoge schakelaars gebruikt worden, zowel voor het omschakelen van de bron als voor het programmeren van de versterking. In figuur 3/13.1-34 is een instrumentatie verschilversterker getekend met drie symmetrische ingangen. Voor het omschakelen wordt een 2 x 3 standen analoge schakelaar gebruikt, waarbij telkens twee schakelaars een van de symmetrische ingangen doorschakelen naar de ingangen van de verschilversterker.

Versterking programmeren

In figuur 3/13.1-35 is een schema getekend van een instrumentatie versterker, waarbij twee analoge schakelaars verantwoordelijk zijn voor het selecteren van twee ingangsbronnen en voor het programmeren van de versterkingsfactor. Een DG302 schakelt de ingangen DIFF IN A of DIFF IN B, een DG301 programmeert de versterkingsfactor op 10,4 of 101. Het gehele systeem wordt bestuurd door twee digitale signalen, die CMOS-compatibel moeten zijn.

Data acquisitie

Sample & hold

Analoge schakelaars kunnen met succes toegepast worden bij de discrete opbouw van sample & hold schakelingen. Dank zij de lage lekstroom en de lage AAN-weerstand kunnen analoge schakelaars, in combinatie met als buffer geschakelde commerciële operationele versterkers, in veel toepassingen de veel duurdere geïntegreerde S&H's vervangen. In figuur 3/13.1-36 is het principe getekend. Vier analoge ingangssignalen wordt met behulp van de vier schakelaars in een SW-06 verbonden met de holdcondensator C_H. Deze wordt op de gebruikelijke manier afgesloten met een als buffer geschakelde operationele versterker. Dank zij de lage AAN-weerstand van het schakelaar-IC zal de hold-condensator heel snel opladen tot de nieuwe waarde van de spanning op de geselecteerde ingang.

Praktisch schema

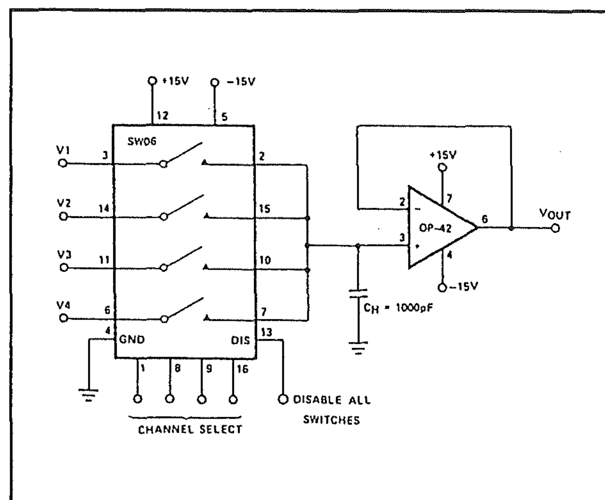
Een volledig uitgewerkt praktisch schema dat volgens dit principe werkt, is getekend in figuur 3/13.1-37. Schakelaars 1 en 3 worden gesloten gedurende de samplefase. Schakelaar 3 koppelt de uitgang van de versterker aan de ingang door naar de hold-condensator. Schakelaar S1 koppelt de uitgang van de schakeling terug naar de inverterende ingang van de ingangsversterker, zodat een gesloten lus ontstaat en het systeem de spanning op de uitgang gelijk zal maken aan de spanning op de ingang. Schakelaars 2 en 4 worden gesloten gedurende de hold-fase. Schakelaar 2 zorgt ervoor dat de ingangsversterker niet in open lus komt te staan, zodat deze schakeling zich stabiel blijft gedragen en de spanning op de uitgang gelijk blijft aan de te bemonsteren spanning. Schakelaar 4 koppelt de uitgangsspanning capacitief terug naar de hold-condensator.

De specificaties van de schakeling zijn:

- aquisitie tijd: 25 µs
- aperture tijd: <1µs
- offset: <5 mV
- droop rate: 5 mV/s

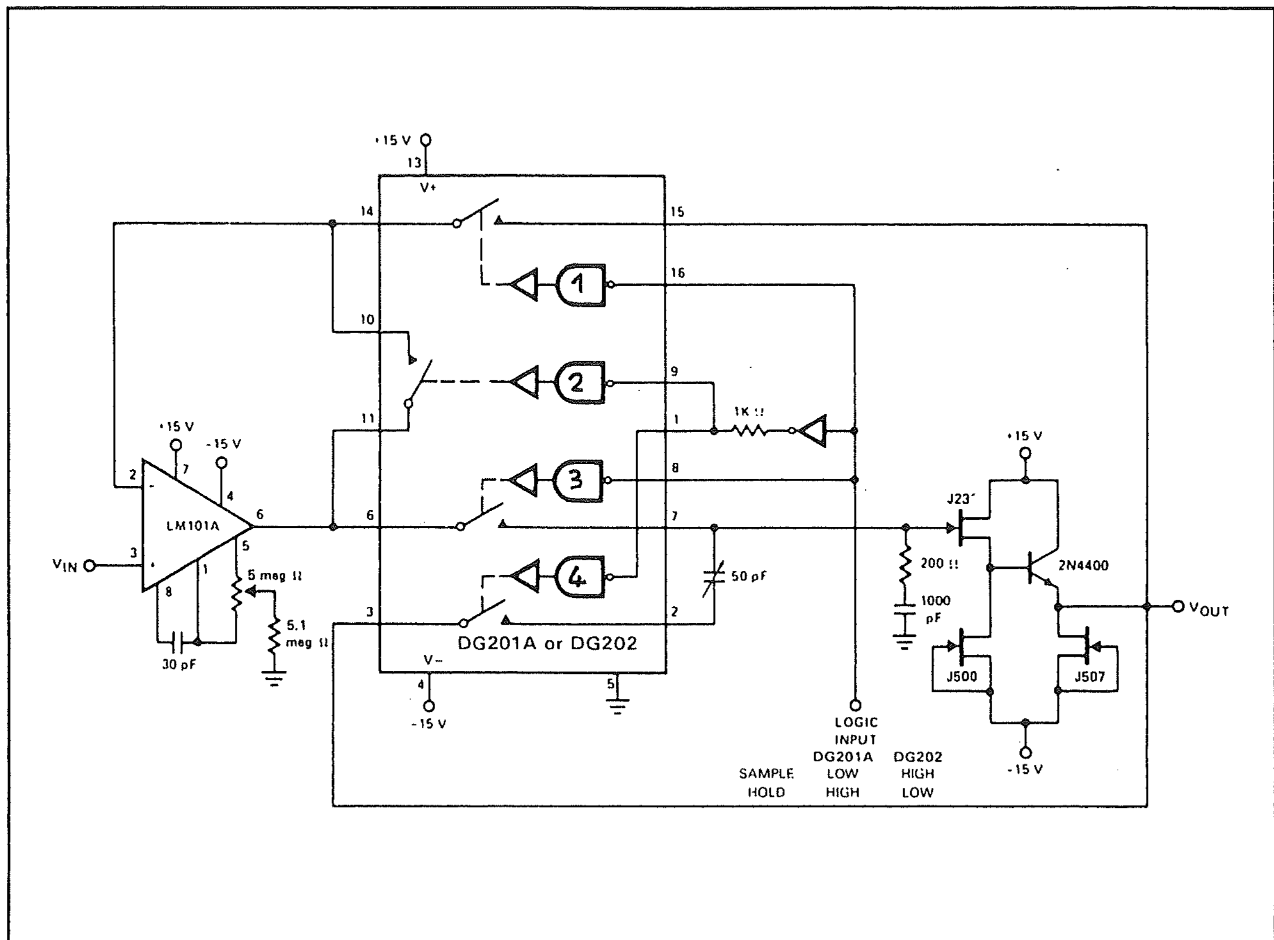
Auto-ranging DAC

Door gebruik te maken van een analoge schakelaar kan men het dynamisch bereik van een DAC uitbreiden. In de meeste gevallen zal een DAC slechts een bepaald "gewicht" van de digitale ingangscode kunnen verwerken. Als de code groter wordt, zal de DAC "door zijn bereik schieten" en de analoge uitgang van de DAC een volledig verkeerde waarde aannemen. Door nu een analoge schakelaar in de terugkoppeling van de nageschakelde operationele versterker op te nemen en deze te sturen uit de digitale ingangscode kan men er voor zorgen dat de analoge uitgangsspanning van de DAC bijvoorbeeld met een factor tien wordt verhoogd.



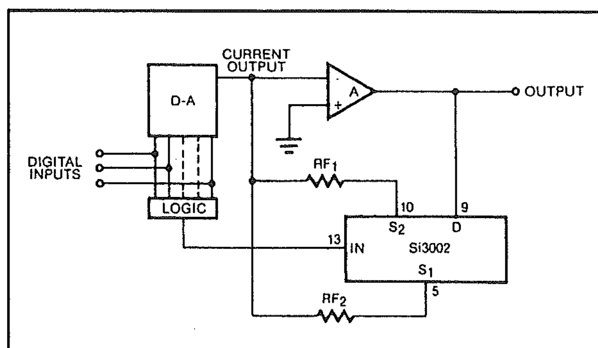
Figuur 3/13.1-36: Het principe van het gebruik van analoge schakelaars in S&H-schakelingen.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-37: Het praktisch uitgewerkte schema van een S&H met analoge schakelaars.

Het basisschema van deze techniek is getekend in figuur 3/13.1-38.

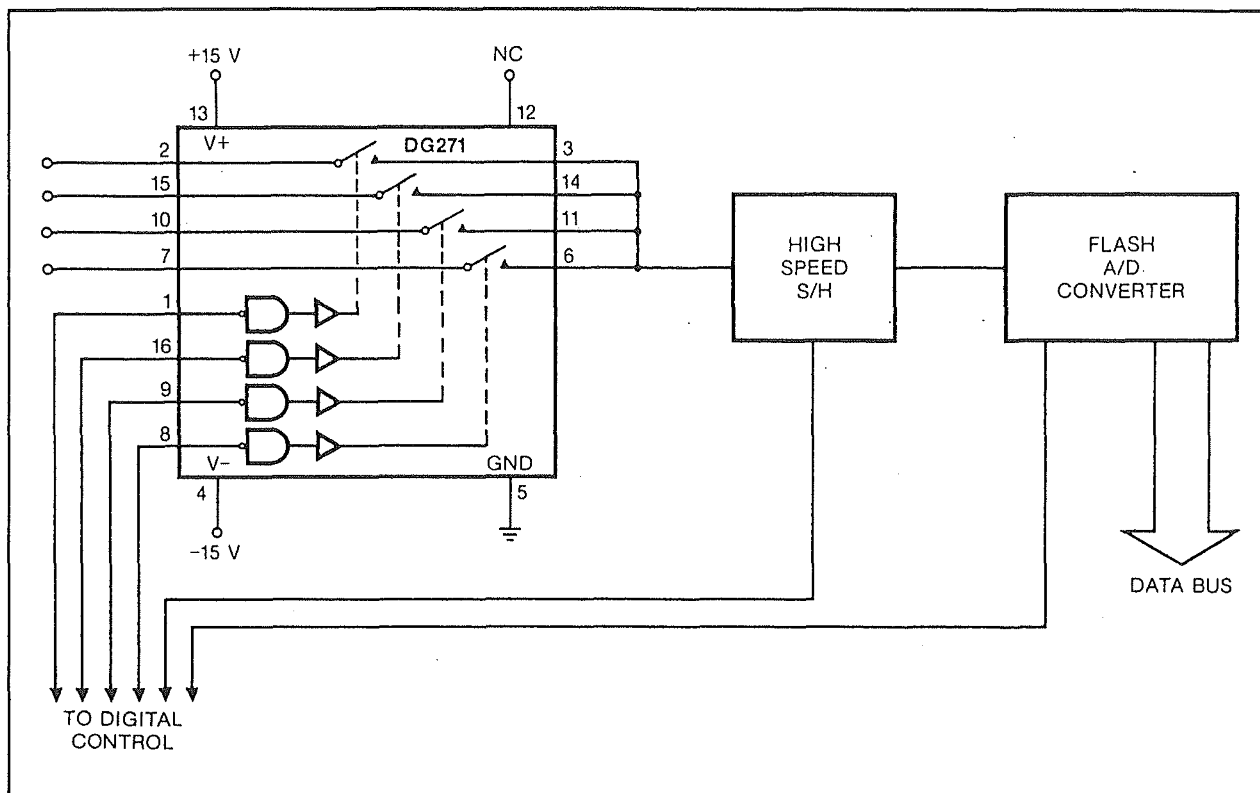


Figuur 3/13.1-38: Het verhogen van het dynamisch bereik van een DAC.

Data acquisitie systeem

Uiteraard zijn analoge schakelaars uitstekend bruikbaar in data acquisitie systemen (DAS). Daarbij besluit men meestal uit kostenoverwegingen slechts één S&H en één ADC toe te passen. De diverse analoge ingangssignalen worden dan door middel van analoge schakelaars een na een doorgekoppeld naar de ingang van het systeem. De schakelaars, de S&H en de DAC kunnen met één set digitale besturingssignalen bestuurd worden. Het principeschema van een dergelijke toepassing is getekend in figuur 3/13.1-39.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

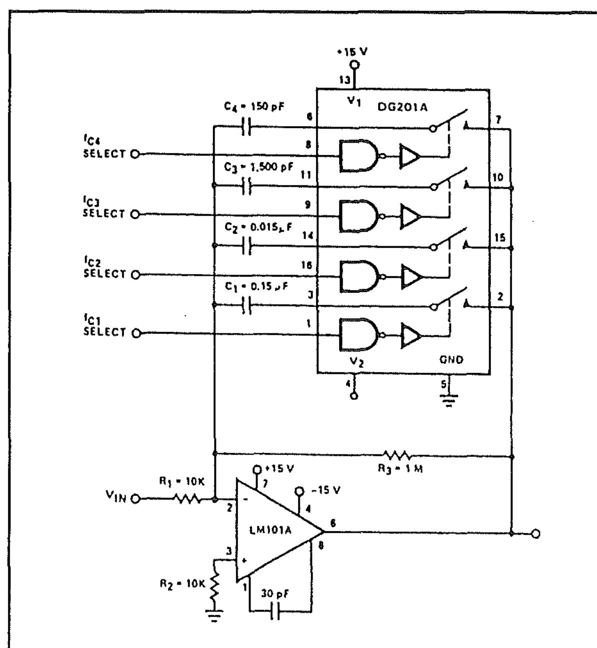


Figuur 3/13.1-39: Het principeschema van analoge schakelaars, toegepast in een data acquisitie systeem met meerdere analoge ingangen.

Overige toepassingen

Programmeerbaar filter

Net zoals men analoge schakelaars kan gebruiken voor het maken van programmeerbare versterkers, kan men dezelfde onderdelen ook toepassen in programmeerbare filters. In figuur 3/13.1-40 is het schema van een laagdoorlaat filter met instelbare afsnijfrequentie getekend. Het tweede orde filter heeft afsnijfrequenties van respectievelijk 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz en 100 kHz. Als geen van de vier besturingsingangen actief is, verandert de schakeling in een inverterende alles doorlaat versterker, met een versterkingsfactor van ongeveer 100.



Figuur 3/13.1-40: Een actief laagdoorlaat filter met decadisch programmeerbare afsnijfrequentie.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

Programmeerbare pulsgenerator

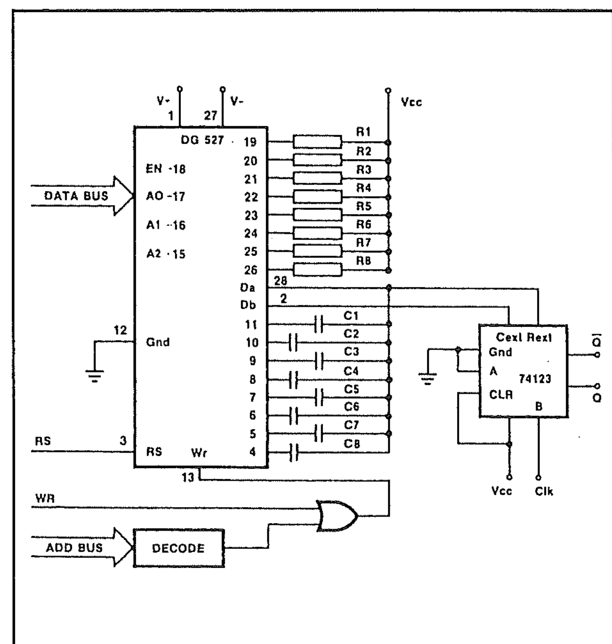
In feite kan men analoge schakelaars in alle schakelingen gebruiken, waarbij de specificaties bepaald worden door het variëren van een weerstand en/of een condensator.

Als voorbeeld is in figuur 3/13.1-41 het schema getekend van een programmeerbare pulsgenerator, waarbij een analoge multiplexer verantwoordelijk is voor het instellen van de pulsbreedte van de uitgangspuls. Als pulsgenerator wordt een 74123 toegepast, waarbij de pulsbreedte wordt bepaald door een RC-tijdconstante. De twee secties van de analoge multiplexer schakelen, onder besturing van een vier bit breed woord, acht verschillende RC-combinaties naar de MMV. Het systeem kan bestuurd worden met een microprocessor, waarbij de schakeling wordt aangesproken door een welbepaald adres en de werking door het W/$\overline{R}$-signaal van de processor wordt gecontroleerd.

Driedraads besturingssysteem

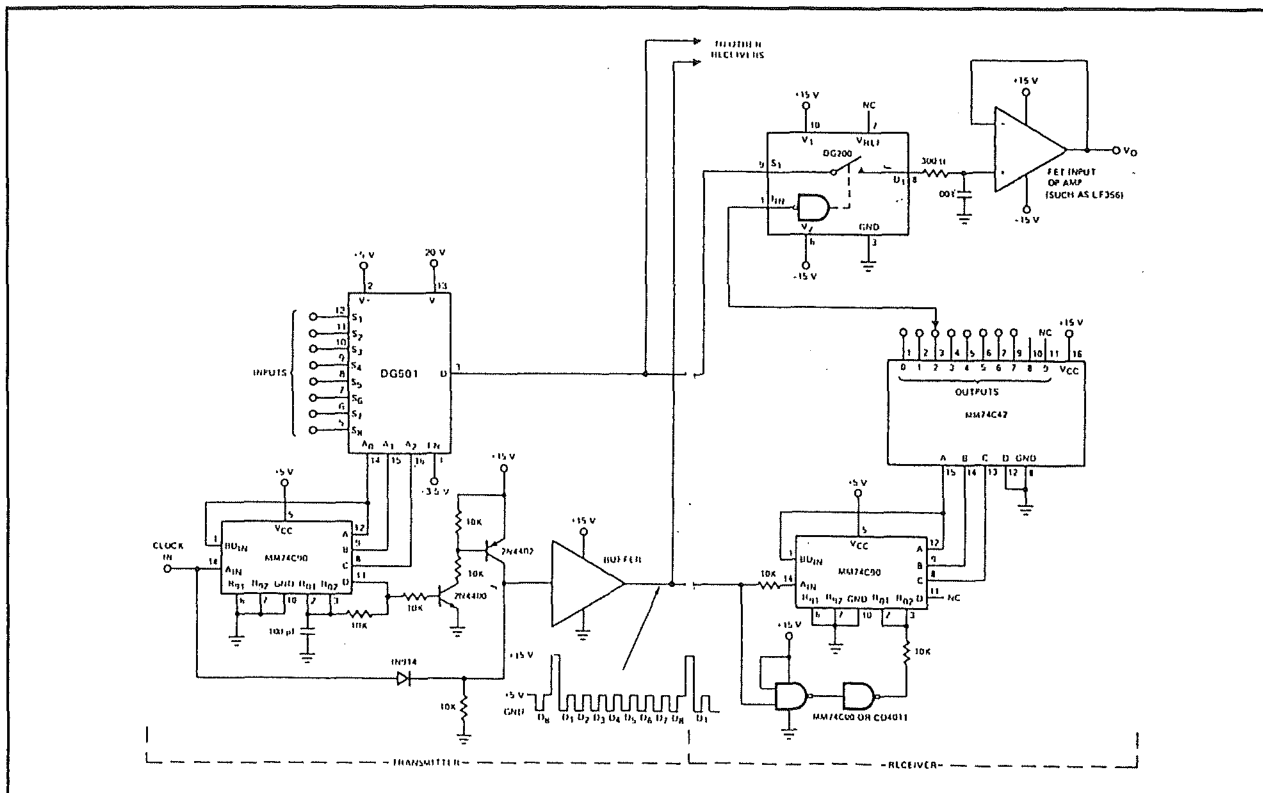
In figuur 3/13.1-42 is een besturingssysteem getekend, waarbij analoge schakelaars er verantwoordelijk voor zijn dat acht besturingssignalen over een driedraads systeem verzonden worden naar acht ontvangers. Het schema van de zender staat links, rechts staat een van de acht ontvangers. De zender wordt gesynchroniseerd door een clock, die een tienteller van het type 74C90 stuurt. De A-, B- en C-uitgangen sturen de drie digitale ingangen van een achtkanaals multiplexer van het type DG501.

Deze ontvangt de acht te versturen digitale codes en stuurt deze serieel via één draad naar de ontvangers. De schakeling tussen de tienteller en de buffer is verantwoordelijk voor het verzenden van de clockpulsen en voor het genereren van één grote syncpuls aan het begin van de cyclus. Deze pulsen worden via de tweede draad verstuurd naar de ontvangers. In de ontvanger wordt het gecombineerde sync- en clocksignaal gebruikt voor het synchroniseren en triggeren van een identieke tienteller. Deze zal onder alle omstandigheden synchroon lopen met de tienteller in de zender. De A-, B- en C-uitgangen van deze tienteller worden gedecodeerd via een 74C42. De acht laagste decimale uitgangen worden aangesloten op een schakelaar, waarmee het nummer van de ontvanger kan worden ingesteld. Het moedercontact van de schakelaar gaat naar de besturingsingang van een analoge schakelaar, die op het juiste moment sluit en het besturingssignaal van het geselecteerde kanaal via een buffer aan het te controleren systeem aanbiedt.



Figuur 3/13.1-41: Een programmeerbare monostabiele multivibrator.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



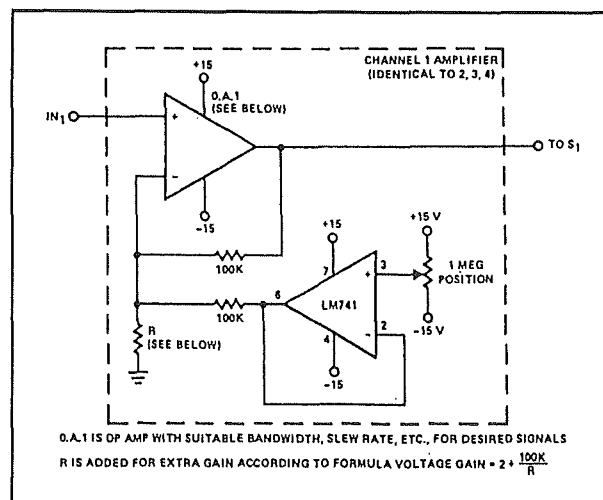
Figuur 3/13.1-42: Het principeschema van een driedraads systeem, waarmee acht digitale codes verzonden kunnen worden naar acht ontvangers.

Oscilloscoop schakelaar

Tot slot is in de figuren 3/13.1-43 en -44 het schema getekend van een eenvoudige vierkanaals oscilloscoop schakelaar.

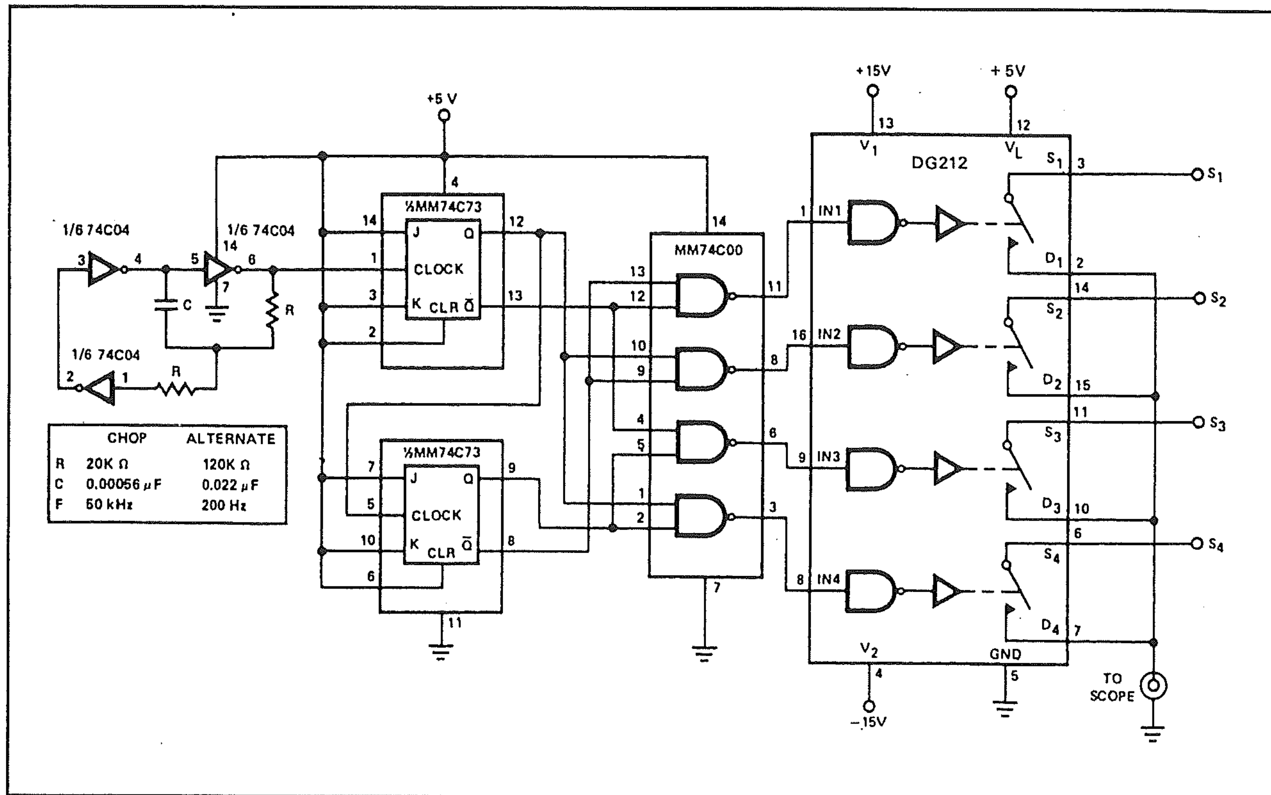
Na voorversterking via het schema van figuur 3/13.1-43 gaan de vier ingangssignalen naar de analoge schakelaar DG212. De digitale besturing zorgt ervoor dat de vier schakelaars een na een sluiten, zodat de vier signalen een na een op het scherm van de scoop worden geschreven.

De voorversterkers van figuur 3/13.1-43 bestaan uit een breedbandige bufferversterker OA1 en een schakeling die zorgt voor een nulpuntsverschuiving. Op deze manier kan men de basislijn van de vier signalen volledig onafhankelijk van elkaar instellen op de gewenste plaats van het scherm.



Figuur 3/13.1-43: Het schema van de analoge voorversterker, die voor iedere ingang van de oscilloscoop multiplexer geschakeld wordt.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars



Figuur 3/13.1-44: Het digitaal deel van de oscilloscoop schakelaar.

13.1 Basis-schakelingen met analoge schakelaars

3/13.2

Basis-schakelingen met TTL-poorten

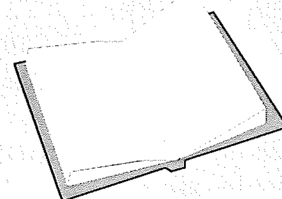
Inleiding

Oud, maar nog steeds populair
De 74xx-serie van TTL-schakelingen was de eerste reeks geïntegreerde schakelingen die op de markt werd gezet. Inmiddels zijn er tientallen opvolgers ontwikkeld, een overzicht treft u aan in hoofdstuk 6/5.1.2. Tóch hebben de originele poorten van de 74xx-serie niets van hun populariteit verloren. In dit hoofdstuk geven wij u tientallen praktisch inzetbare voorbeeldschakelingen, die in uw dagelijkse praktijk van hobby- of student-ontwerper zeker van pas kunnen komen.
De beschreven schakelingen zijn compatibel met alle leden van de 74-familie. U kunt ze dus zowel gebruiken met de laagohmige 74xx als met de hoogohmige 74Cxx, met de oude 74Sxx als met de moderne 74HCTxx. Bij sommige leden, zoals de 74Cxx, zult u alle weerstandswaarden met een factor tien moeten verhogen en kunt u de meeste condensatoren tien keer kleiner maken.

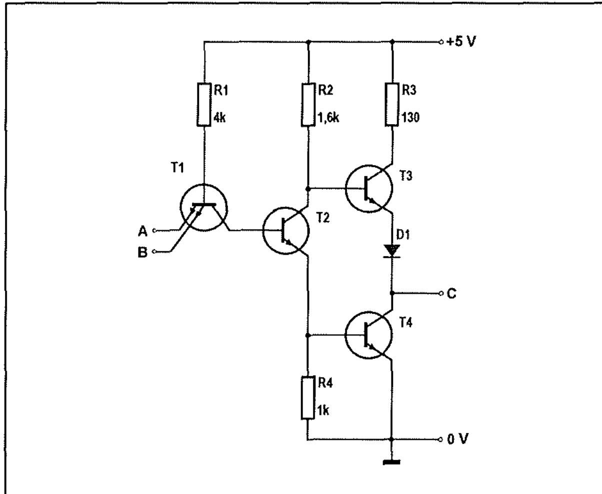
7400

Inleiding
De viervoudige NAND 7400 is zonder enige twijfel de populairste TTL geïntegreerde schakeling. In vrijwel iedere digitale schakeling worden één of meerdere van deze IC's gebruikt.
Voor de volledigheid worden in deze paragraaf enige algemeenheden op een rijtje gezet, die u wellicht reeds kent. De 7400 is een viervoudige TTL-poort, waar de logische functies alleen met transistoren worden uitgevoerd. In figuur 3/13.2-1 is het inwendige schema van een poort weergegeven.
De ingangstransistor bezit twee emitters, de uitgang is in een totem-pole schakeling opgenomen. Dit wil zeggen dat de uitgangstrap bestaat uit twee in serie geschakelde transistoren die beurtelings geleiden en sperren.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/6.3.1
Hoofdstuk 3/6.3.2
Hoofdstuk 3/6.12.2
Hoofdstuk 6/5.1.2



13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-1: Het inwendige schema van één poort uit de 7400.

Indien één of beide emitters van de ingangstransistor op massapotentiaal ligt, geleidt T1. Het gevolg is dat de basis van T2 eveneens aan massa ligt, zodat transistor T4 spert, maar transistor T3 geleidt, omdat deze basissturing krijgt via R2. De uitgang C is dus met de voedingsspanning verbonden.

Als beide ingangen hoog zijn, spert T1. Het gevolg is dat T2 basissturing ontvangt van T1. Over R4 wordt door de emitterstroom van T2 een spanning opgebouwd, die T4 stuurt. De uitgang C wordt dus met massa verbonden. De spanningsval over R2 zorgt voor een effectieve sperring van transistor T3.

De 74xx-serie vraagt veel stroom

Uit deze schakelingbeschrijving kunt u een paar belangrijke karakteristieken van dit type poort afleiden.

De logische niveaus voor positieve logica zijn bij TTL:

- "L" = laag, spanning kleiner dan 0,4 V;
- "H" = hoog, spanning groter dan 2,4 V.

De schakeling moet met een tamelijk grote stroom worden aangestuurd. Dit houdt verband met de emitteringang van de schakeling. De belasting, die een TTL-IC van de voorgaande trap vergt, wordt aangeduid door de "fan-in". Men stelt per definitie de fan-in van één ingang van de 7400 poort gelijk aan 1. Volgens een equivalente redenering noemt men de sturing, die een TTL-IC kan leveren aan andere TTL-IC's, de "fan-out". De 7400 heeft een fan-out van 10. Dit wil dus zeggen dat één 7400 poort tien ingangen van erop volgende poorten (met fan-in van 1) kan sturen.

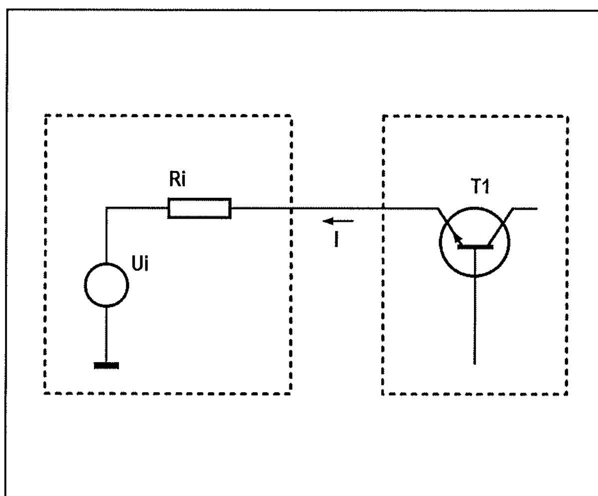
Het feit dat de ingangen van deze poorten emitter gestuurd zijn heeft een paar consequenties.

Allereerst duidt dit erop dat de ingangsimpedantie van een standaard TTL-poort zeer laag is. In een digitaal systeem, opgebouwd uit TTL-IC's, is dit niet erg omdat de uitgangsimpedantie eveneens laag is. Bouwt u echter een hybrideschakeling op, bestaande uit transistoren en IC's, dan kan deze eigenschap moeilijkheden met zich meebrengen.

Bestudeer bijvoorbeeld figuur 3/13.2-2, waarin een TTL-poort door een schakeling wordt gestuurd. Deze schakeling heeft een inwendige weerstand Ri. Als de ingangsspanning Ui "L" is, zal er vanwege de emittersturing van de poort een stroom I door de ingangsschakeling vloeien. De inwendige transistor T1 is immers geleidend. Deze stroom bouwt over de weerstand Ri een spanning op. Zolang de inwendige weerstand van de stuurschakeling niet te groot is, is er geen vuiltje aan de lucht. Is Ri evenwel te groot, dan wordt de spanningsval zo groot dat de ingang van de poort niet meer "L" is, waardoor de logische werking van de poort wordt verstoord. Een zeer belangrijke voorwaarde voor pro-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

bleemloze koppeling van originele 74xx TTL-IC's aan transistorschakelingen is dus dat de inwendige weerstand van deze schakeling klein moet zijn. Een veilige grenswaarde is 560 Ω.
Als de ingangsspanning Ui "H" is, is dit probleem niet aanwezig. Transistor T1 spert dan, zodat slechts een zeer kleine lekstroom door de ingang vloeit.
Deze nadelen van de oorspronkelijke 74xx-serie zijn inmiddels opgelost door het ontwikkelen van series die veel hoogohmiger werken en kleinere ingangsstromen naar de belasting sturen.



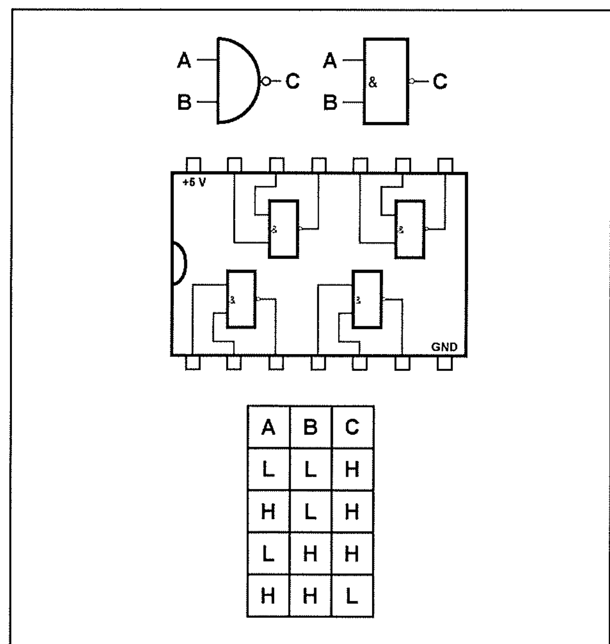
Figuur 3/13.2-2: De laagohmige sturing die de originele 74xx eist wordt aan de hand van dit voorbeeld toegelicht.

Vertragingstijd

Een volgende eigenschap die soms van belang is in de praktijk, is de vertragingstijd. Als aan de ingang van een poort een spanningssprong wordt aangelegd, duurt het een bepaalde tijd voor de uitgang reageert. De sprong moet inderdaad door vier transistoren worden verwerkt en daar zijn deze componenten enige tijd mee zoet. Het tijdverschil tussen actie aan de ingang en reactie aan de uitgang noemt men de vertragingstijd van de schakeling. Alhoewel deze zeer klein is (10 nanoseconde), komt hij soms in de praktijk van pas, maar kan hij anderzijds eveneens bijzonder vervelend zijn.

NAND voor positieve logica

Zoals reeds summier besproken bij de schemabeschrijving van dit IC, werkt de 7400 als een NAND voor positieve logica. Dit wil zeggen dat de uitgang slechts dan "L" is, als beide ingangen "H" zijn. In figuur 3/13.2-3 is de logische werking van dit IC samengevat. Tevens is het symbool van de NAND-poort getekend, alsmede de aansluitgegevens in bovenaanzicht.



A	B	C
L	L	H
H	L	H
L	H	H
H	H	L

Figuur 3/13.2-3: Het oude en nieuwe symbool, de waarheidstabel en de aansluitgegevens van de 7400.

Wat te doen met ongebruikte ingangen?

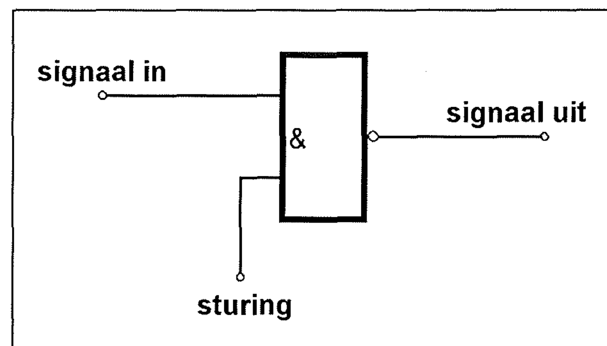
Ter afsluiting van deze theoretische inleiding nog dit: niet gebruikte ingangen van NAND-poorten moet u met de voe-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

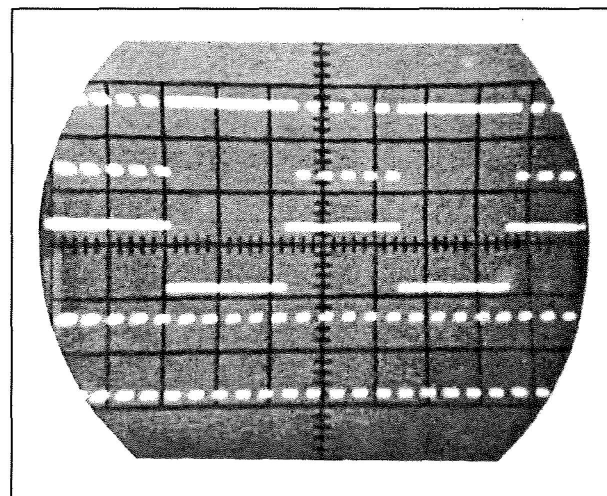
dingsspanning verbinden of parallel schakelen aan wél in functie zijnde collega's (uiteraard van dezelfde poort).

De 7400 in logische schakelingen
Logische schakelingen zijn in het algemeen schakelingen waar bepaalde combinaties van ingangsspanningen bepaalde combinaties van uitgangsspanningen tot gevolg hebben. U kunt denken aan het omvormen van de ene code in de andere, besturingsschakelingen, etc. Helaas zijn dit echter schakelingen, die in de vrijetijdselektronicasfeer niet veel voorkomen. Bovendien vereisen ze een grondige kennis van de Boolse algebra. Hoewel de 7400 zich in dergelijke schakelingen in zijn element voelt, wordt er om bovenstaande redenen in het kader van dit hoofdstuk niet verder op ingegaan.

De 7400 als poort
In de voorgaande paragrafen is dikwijls het woord "poort" gebruikt, zonder dat duidelijk werd waarom deze NAND-schakeling poort wordt genoemd. Een poort kan open of dicht zijn. Is ze open, dan kunt u ongehinderd door de poort lopen. Is ze dicht, dan wordt de doorgang versperd. Een equivalente elektronische werking kan met een 7400 NAND-schakeling worden uitgevoerd. Uit de waarheidstabel van figuur 3/13.2-3 volgt dat als één ingang "L" is, de uitgang steeds "H" is, wat er ook aan de tweede ingang gebeurt. Als één ingang "H" is, laat de schakeling het signaal van de tweede ingang door, weliswaar geïnverteerd. De toepassing van figuur 3/13.2-4 maakt een en ander duidelijk. Hierbij wordt eveneens aan figuur 3/13.2-5 gerefereerd. Aan een ingang, de signaalingang, wordt een vierkantspanning aangelegd. De tweede ingang, de stuuringang, wordt met een schakelspanning gevoed. Is dit signaal "L", dan laat het IC de pulsen niet door, de uitgang is steeds "H". De "elektronische poort" is gesloten. Maakt u de stuuringang "H", dan opent de poort en de blokken verschijnen geïnverteerd aan de uitgang.



Figuur 3/13.2-4: Het gebruik van de 7400 als elektronische poort.

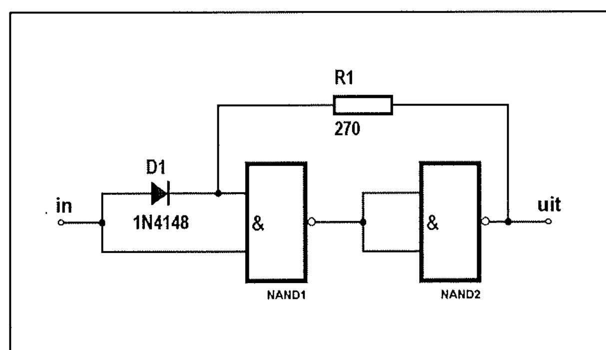


Figuur 3/13.2-5: Van beneden naar boven: de signaalingang, de stuuringang en de signaaluitgang van de schakeling van figuur 3/13.2-4.

De 7400 als schmitt-trigger
In de inleiding werd reeds opgemerkt dat TTL-IC's alleen reageren op duide-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

lijk omschreven spanningsniveaus: "L" kleiner dan 0,4 V en "H" groter dan 2,4 V. Als een signaal van het ene niveau naar het andere evolueert, moet deze overgang zo snel mogelijk gebeuren. Is dit namelijk niet het geval, dan is er een overgangsgebied tussen "L" en "H", waarin de schakeling als versterker optreedt, met kans op oscillaties. De stijg- en daaltijden van door TTL-IC's te verwerken signalen moeten dus zo klein mogelijk zijn. Heeft u traag variërende spanningen, zoals sinussen en zaagtanden ter beschikking en wilt u tóch TTL-IC's sturen, dan moet u een schmitt-trigger tussenschakelen.
Figuur 3/13.2-6 leert hoe een halve 7400 dit karweitje opknapt. Stel dat de ingang "L" is. De onderste ingang van poort 1 is "L", de uitgang is "H". Poort 2 inverteert dit niveau, zodat de schakeling uitgang "L" is. De tweede ingang van poort 1 is dus eveneens "L".



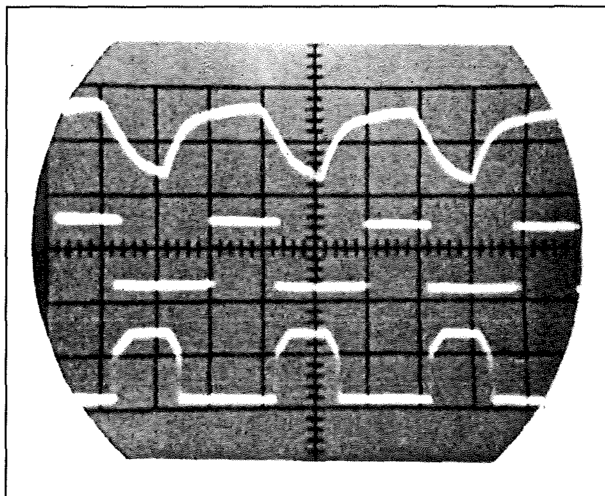
Figuur 3/13.2-6: Twee 7400 poorten laten zich, met behulp van een weerstand en een diode, omvormen tot schmitt-trigger.

Als de ingangsspanning stijgt, volgt de onderste ingang van poort 1 dit signaal. De bovenste ingang volgt dit signaal eveneens, maar met een spanningsverschil van 0,7 V. Dit is de spanningsval over de geleidende diode. Als de ingangsspanning zo groot is geworden dat het "H" niveau van het gebruikte IC-exemplaar is bereikt (dus ongeveer 2,4 V), wordt de onderste ingang van poort "H". De bovenste is evenwel 0,7 V lager. De uitgang is dus nog steeds "H". Als de ingangsspanning zo groot wordt dat de bovenste ingang "H" wordt, schakelt de poort waardoor de uitgang "L" wordt. Deze "L" wordt geïnverteerd door poort 2, zodat de uitgang "H" wordt. Deze hoge spanning wordt teruggekoppeld via de weerstand. De bovenste ingang van poort 1 wordt positief. Door deze terugkoppeling wordt vermeden dat poort 1 in het overgangsgebied tussen "L" en "H" blijft en gaat oscilleren.
De diode heeft een dubbele functie: eerst ervoor zorgen dat de onderste ingang van poort 1 reeds lang in het veilige "H"-gebied zit voor de poort omslaat en vervolgens vermijden dat de terugkoppeling die de bovenste ingang door het overgangsgebied helpt, afvloeit via de aan de ingang aangesloten schakeling.
Voor de overgang van "H" naar "L" kan een analoge redenering worden opgebouwd.
Figuur 3/13.2-7 bewijst dat deze schakeling haar kostprijs meer dan waard is. Het bovenste oscillogram toont een spanning die zowel aan een schmitt-trigger schakeling als aan een enkele poort wordt aangelegd. De schmitt-trigger verwerkt deze spanning tot een mooie puls, terwijl de enkele NAND duidelijk merkbaar geen raad weet en een vervormd signaal aflevert, met bovendien oscillaties op de flanken (op de foto niet zichtbaar).

De 7400 als RS flip-flop

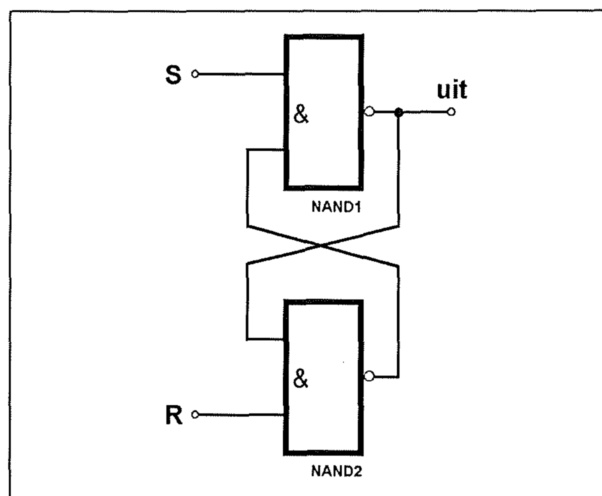
De reset-set flip-flop (RS-FF) is het eenvoudigste bistabiele element dat bestaat.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-7: Van boven naar beneden: de ingangsspanning, de uitgangsspanning van de schmitt-trigger en de uitgang van een enkele 7400 poort.

De schakeling heeft twee ingangen en een uitgang. Een puls op de set-ingang maakt de uitgang "H", een puls op de reset-ingang maakt de uitgang "L". De schakeling onthoudt dus welke ingang het laatst is geactiveerd. Figuur 3/13.2-8 toont hoe u een dergelijk circuit kunt samenstellen met twee NAND's uit een 7400. Stel dat R en S beide "H" zijn en dat de uitgang eveneens "H" is. De twee ingangen van poort 2 zijn "H", zodat de uitgang "L" is. Stel dat de R-ingang even "L" wordt. De uitgang van poort 2 wordt "H". Poort 1 krijgt hierdoor twee hoge niveaus aangeboden en reageert dadelijk met een "L" aan de uitgang. Hierdoor wordt de bovenste ingang van poort 2 "L". Het gevolg is dat de uitgang van deze onderste poort "H" blijft, zelfs als R weer "H" wordt. Besluit is dat er een nieuwe stabiele toestand is bereikt. Door een negatieve sprong op R wordt de uitgang "L" of blijft "L", als hij dit reeds was. Equivalent kunt u eenvoudig aantonen dat een negatieve sprong op de S-ingang de uitgang "H" maakt of "H" laat als hij dat reeds was.



Figuur 3/13.2-8: Twee rechtstreeks met elkaar gekoppelde 7400 poorten vormen de basis van ieder geheugen: een simpele RS flip-flop.

uit was	actie S	actie R	uit wordt
H	H	⊔	L
H	⊔	H	H
L	⊔	H	H
L	H	⊔	L

Figuur 3/13.2-9: In deze tabel zijn alle mogelijke toestanden, acties en gevolgen in een RS flip-flop samengevat.

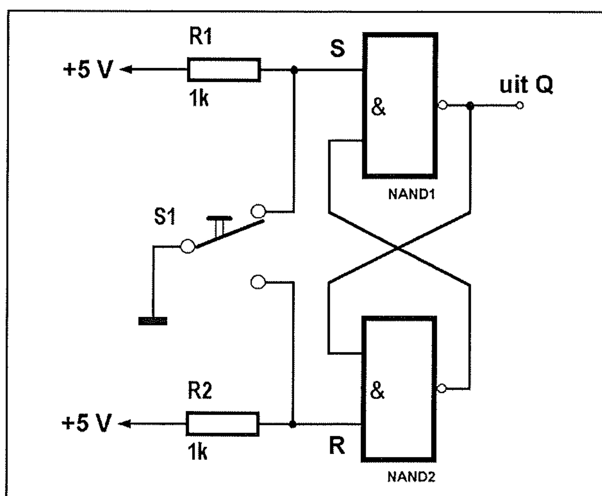
In de waarheidstabel van figuur 3/13.2-9 zijn alle mogelijke combinaties samengevat. Het praktisch nut van deze schakeling is dat u ze kunt gebruiken om het

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

eenmalig verschijnen van een smalle negatieve puls blijvend te registreren.

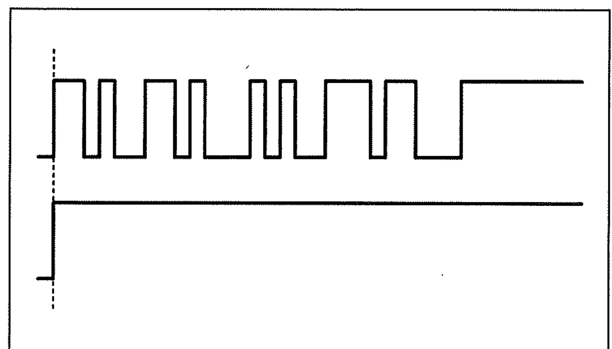
De 7400 als anti-dender schakeling

Iedere mechanische schakelaar heeft de nare eigenschap dat, bij inschakelen, het bewegend contactarmpje enige malen op het vaste contact kaatst, alvorens definitief verbinding te maken.
Als de schakelaar in een elektronisch systeem is opgenomen zal hij bij iedere schakelactie een hele reeks smalle paracitaire pulsjes leveren. Transistorschakelingen willen dergelijke onvolmaaktheden wel door de vingers zien, maar de ultra-snelle TTL-IC's zijn er als de kippen bij om op iedere paracitaire puls te reageren, waardoor de zorgvuldig ontworpen schakeling volkomen de mist ingaat.
De reset-set flip-flop kunt u met succes inschakelen om deze narigheden te vermijden. De schakeling is in figuur 3/13.2-10 getekend.



Figuur 3/13.2-10: Een RS flip-flop toegepast als schakeling voor het ontdenderen van mechanische schakelaars.

In de aangeduide stand is één ingang van poort 2 "L" en is dus de uitgang Q eveneens "L". Schakelt u de schakelaar om, dan wordt S van poort 1 "L", waardoor de flip-flop omschakelt. De uitgang wordt "H". Door het denderen van de schakelaarcontacten wordt S verschillende malen "L" en "H". Zolang echter R "H" blijft, zal het bistabiele element in de omgeslagen toestand blijven.
Schakelt u de schakelaar weer om dan zal, zodra de schakelaarcontacten elkaar raken, R "L" worden waardoor de flipflop omschakelt. Door het denderen van de contacten wordt R verschillende malen "L" en "H", maar daar de uitgang reeds "L" is, hebben deze paracitaire pulsen geen invloed op de schakeling.
In figuur 3/13.2-11 zijn ter vergelijking de uitgangsspanning van een schakelaar en de uitgangsspanning van een schakelaar met flip-flop getekend.



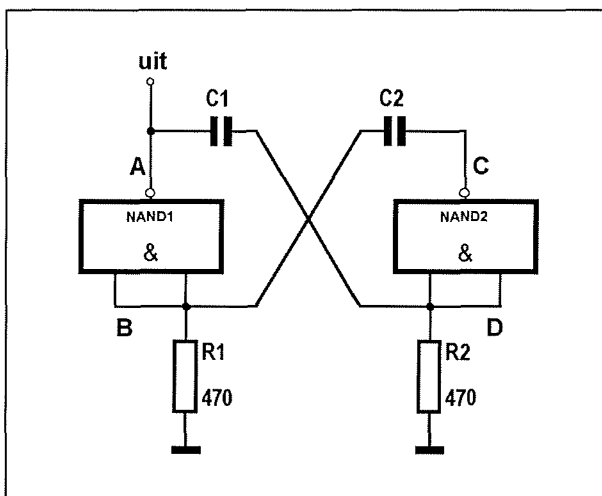
Figuur 3/13.2-11: Vergelijking van de uitgang van een mechanische schakelaar (boven) en de uitgang van de anti-dender schakeling (onder).

De 7400 als oscillator

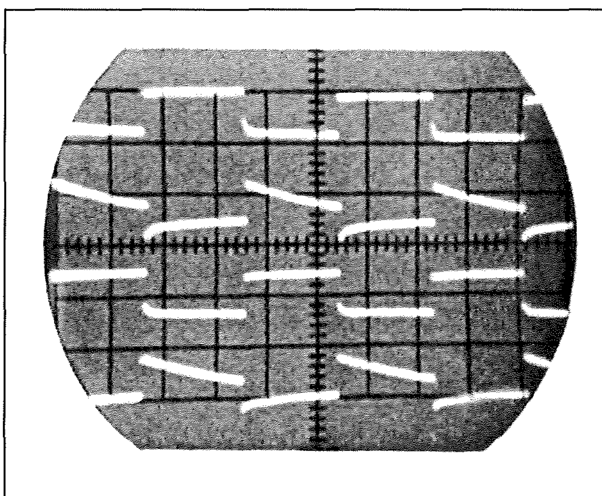
Zoals u weet bestaat een vierkantgolfgenerator in zijn meest algemene vorm uit een tweetrapsversterker, waarvan de uitgang zeer sterk capacitief wordt teruggekoppeld naar de ingang. Omdat poorten in principe eveneens versterkers zijn, ligt het voor de hand dat u met TTL-IC's

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

multivibratoren kunt maken. Figuur 3/13.2-12 toont de allereenvoudigste vorm van een TTL-AMV. De schakeling bestaat uit twee inverters, die via RC-kringen met elkaar zijn gekoppeld. Aan de uitgangen A en C ontstaan vierkantgolven, die elkaars inverse zijn. Aan de hand van oscillogrammen van figuur 3/13.2-13 wordt de werking toegelicht.



Figuur 3/13.2-12: De meest eenvoudige uitvoering van een oscillator met twee 7400 poorten.



Figuur 3/13.2-13: De spanningsvormen in de schakeling van figuur 3/13.2-12: van boven naar onder A, B, C en D.

U start de redenering bijvoorbeeld op het moment dat A van "H" naar "L" springt. De condensator C1 laat deze sprong ongehinderd door, zodat punt D negatief wordt. Het gevolg is dat C en dus ook B "H" worden. Hierdoor wordt de negatieve sprong van A aangemoedigd. Het omschakelen van de ene toestand naar de andere gebeurt dus bijzonder snel.

De condensatoren gaan zich nu ontladen. C1 doet dat over R2. Het enige dat hierdoor kan gebeuren is dat de spanning op D naar massapotentiaal streeft. Condensator C2 echter misbruikt weerstand R1 voor zijn ontlaadneigingen. Hierdoor daalt de spanning op B. Op een bepaald ogenblik wordt deze spanning zo laag dat de poort zich genoodzaakt voelt om in actie te treden. A wordt opnieuw "H", welke sprong D trouw volgt. Gevolg is dat B en C in negatieve zin variëren, waardoor de positieve sprong op A wordt geaccentueerd. De schakeling is in haar tweede astabiele toestand.

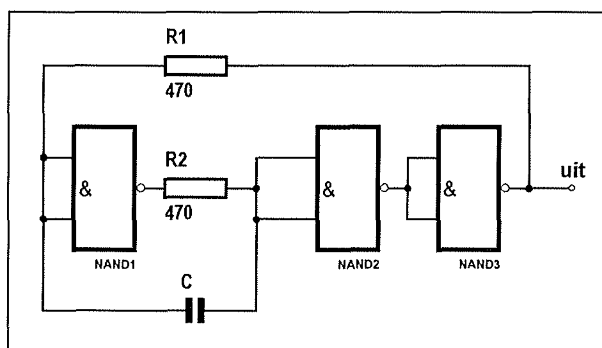
De spanningsdaling op D, als gevolg van het ontladen van C1, bepaalt het moment van omschakelen waardoor u in de uitgangspositie belandt.

Deze zeer eenvoudige schakeling heeft enige nadelen. Allereerst is ze niet 100 % zelfstartend. Als de voedingsspanning bij aanschakelen langzaam opkomt, wat bij de meeste gestabiliseerde voedingen het geval is, kan het gebeuren dat de oscillator niet wil starten. Een tweede nadeel is dat de schakeling extreem grote condensatoren vereist als u lage frequenties wilt opwekken. Althans, bij gebruik van de standaard laag-ohmige 74xx schakelingen. Voor een frequentie van 1 kHz moeten C1 en C2 0,56 µF zijn! De waarde van de weerstanden kan niet veel worden

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

verhoogd, vanwege de spanningopbouw door de lekstromen, zoals in de eerste paragraaf is verduidelijkt.
Deze problemen zijn uiteraard op te lossen door over te schakelen naar 74Cxx schakelingen, die veel hoog-ohmiger zijn.

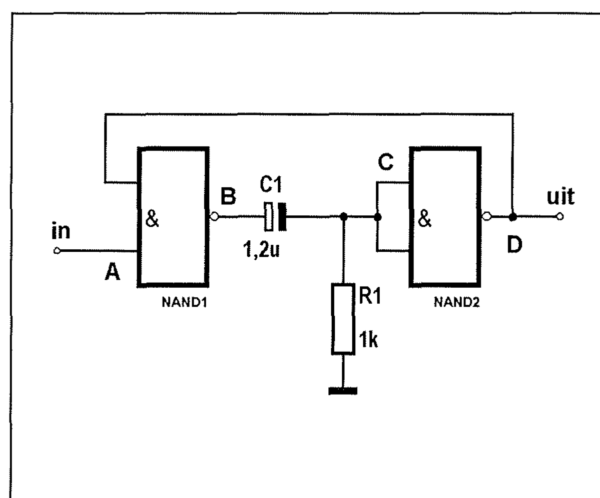
Een alternatieve multivibrator
Een alternatieve schakeling, waarbij slechts één condensator nodig is en die wel 100 % zelfstartend is, wordt in figuur 3/13.2-14 voorgesteld. Deze astabiele multivibrator heeft bovendien het voordeel dat de uitgangspuls mooier van vorm is dan die van de schakeling van figuur 3/13.2-12. Ook hier eist de schakeling grote condensatoren in ruil voor lage frequenties. Voor f = 1 kHz is C = 0,68 μF.



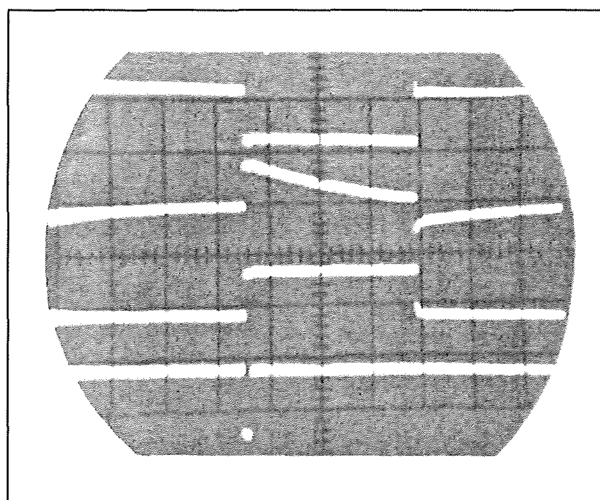
Figuur 3/13.2-14: Een alternatieve multivibrator met slechts één condensator, maar drie 7400 poorten.

Opmerking
De beide besproken multivibratorschakelingen zijn niet erg frequentiestabiel. De periode varieert in beide gevallen met de voedingsspanning. De tweepoorten schakeling slaat reeds af bij een voedingsspanning van 4,5 V. De uitgebreide schakeling blijft genereren, zelfs bij 3 V voedingsspanning.

De 7400 als monostabiele multivibrator
Een schakeling die, op bevel van een stuurpuls, een eenmalige uitgangspuls met welbepaalde breedte opwekt, is een monostabiele multivibrator. Figuur 3/13.2-15 bewijst dat de 7400 ook voor deze rol niet terugschrikt. In figuur 3/13.2-16 wordt deze schakeling doorgelicht.



Figuur 3/13.2-15: Twee NAND-poorten vormen korte negatieve pulsen om in lange.



Figuur 3/13.2-16: De vier karakteristieke spanningsvormen van de schakeling van figuur 3/13.2-15: A, B, C en D.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

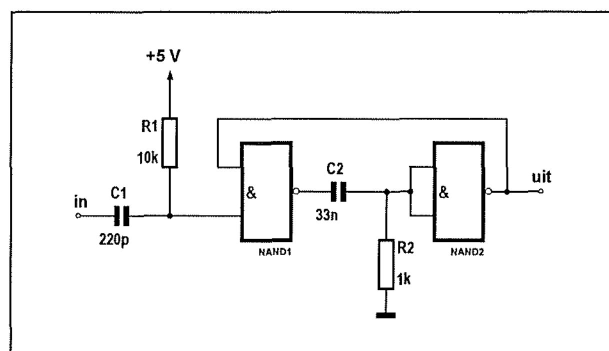
Stel dat aan ingang A een smalle negatieve puls verschijnt. Ogenblikkelijk gevolg is dat B "H" wordt. Deze positieve sprong wordt door de condensator doorgelaten. De ingang C van inverter 2 wordt "H", zodat de uitgang D het nulniveau opzoekt. De uitgang bestuurt een ingang van de eerste poort. Gevolg is dat de ingangspuls met een gerust geweten opnieuw "H" mag worden. De teruggekoppelde uitgang zorg er immers voor dat de uitgang van de eerste poort toch "H" blijft. De condensator C gaat zich via de weerstand R ontladen. Op een bepaald ogenblik is de spanning op C zover gedaald dat de tweede poort reageert: D wordt "H". Gevolg is dat beide ingangen van de eerste poort "H" zijn, B wordt "L", welke negatieve sprong op C komt. Door deze terugkoppeling wordt D zeer snel "H". Besluit is dat de smalle puls aan de ingang is omgevormd in een brede uitgangspuls. De breedte van deze puls wordt bepaald door het product R * C. Bij R = 1 kΩ en C = 1,2 µF is de pulsbreedte 7 ms.

Deze schakelingen hebben beperkingen. Allereerst moet de ingangspuls van "H" naar "L" variëren. Bovendien mag de ingangspuls niet breder zijn dan de gewenste breedte van de uitgangspuls. Is dit namelijk wél het geval, dan treden op de achterflank van de uitgangspuls oscillaties op.

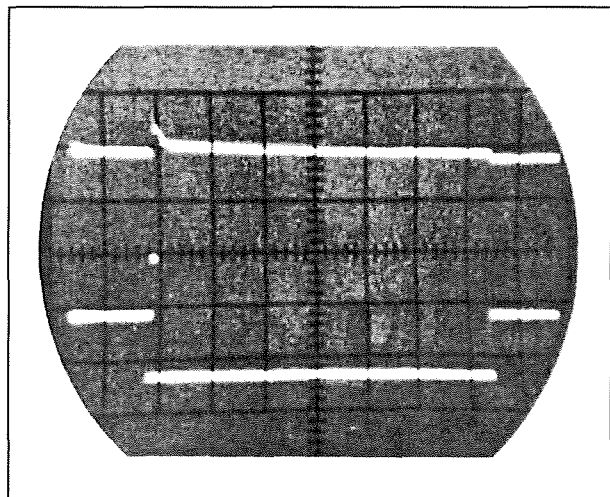
Dit is eenvoudig te verklaren. Als de condensator C zover is ontladen dat de tweede poort reageert, zal de onderste ingang van de eerste poort nog "L" zijn. Gevolg is dat B "H" blijft, waardoor de terugkoppeling wegvalt. De spanning op C wordt dan niet zeer snel negatief, zoals op de foto, maar verloopt traag door de exponentiële ontlading van C. Poort 2 is dan even in zijn lineaire gebied ingesteld, werkt als versterker, met als gevolg oscillaties aan de uitgang.

Een betere MMV

Een schakeling die dit euvel opheft, is getekend in figuur 3/13.2-17. In rust wordt de onderste ingang van de eerste poort door R1 op "H" ingesteld.



Figuur 3/13.2-17: Door een differentiator aan de ingang wordt vermeden dat de uitgang gaat oscilleren.



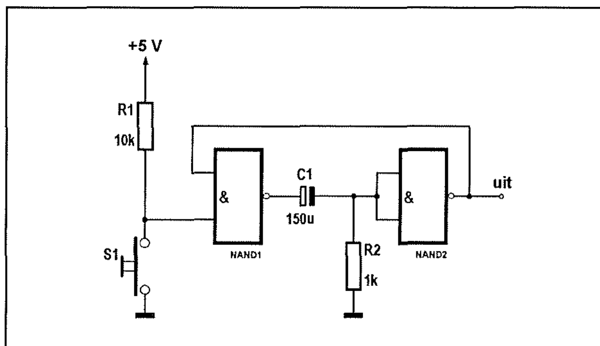
Figuur 3/13.2-18: De in- en uitgangsspanning van de schakeling van figuur 3/13.2-17.

Een negatieve ingangspuls wordt gedifferentieerd door R1-C1, zodat slechts een zeer smalle negatieve naaldpuls de poort bereikt. De tijdconstante R2-C2

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

zorgt ervoor dat de uitgangsimpuls de gewenste breedte heeft. Figuur 3/13.2-18 bewijst de voorbeeldige werking van de schakeling. De onderste brede ingangspuls wordt omgevormd tot een veel smallere uitgangspuls.

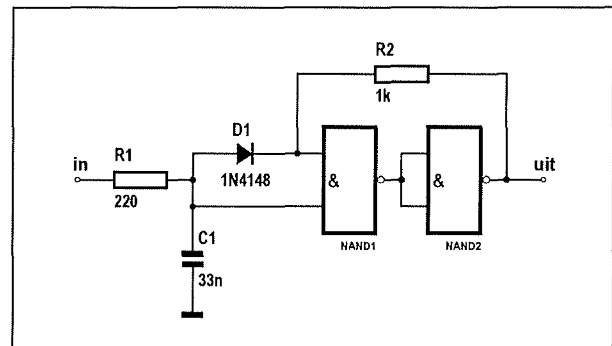
Alternatieve anti-dender schakeling
Deze monostabiele multivibrator schakeling is eveneens goed bruikbaar om mechanische schakelaars van dendercomplexen te verlossen. De schakeling van figuur 3/13.2-10 is niet bruikbaar voor drukknoppen, omdat deze slechts zelden een omschakelfunctie hebben. Figuur 3/13.2-19 wijst de weg naar de oplossing voor alle moeilijkheden.



Figuur 3/13.2-19: De TTL-MMV is zeer geschikt voor het ontdenderen van mechanische drukknoppen.

De pulsduurbepalende componenten zijn groot gekozen (150 µF), zodat de breedte van de uitgangspuls ongeveer een seconde is. Zodra de druktoetscontacten sluiten wordt deze puls opgewekt. Alle volgende ingangspulsen, veroorzaakt door de denderende contacten, beïnvloeden de schakeling niet.
Het enige waar u op moet letten is dat de schakelaar niet langer dan de duur van de uitgangspuls wordt ingedrukt, omdat dan oscillaties aan de uitgang ontstaan.

De 7400 als impulsvertrager
In uitgebreide digitale schakelingen waar allerhande impulsen veel IC's moeten doorlopen, ontstaan soms coïncidentieproblemen. Dit wil zeggen dat twee pulsen, die theoretisch gelijktijdig aan bijvoorbeeld de twee ingangen van een NAND-poort moeten verschijnen, dit in de praktijk niet doen. Dit komt bijvoorbeeld doordat de ene puls veel meer IC's heeft doorlopen dan de andere en daardoor meer is vertraagd. Om deze pulsen toch gelijktijdig aan de ingangen van de poort toe te voeren, is een tijdvertragende schakeling gewenst, die de te snelle puls afremt. Figuur 3/13.2-20 toont de schakeling.

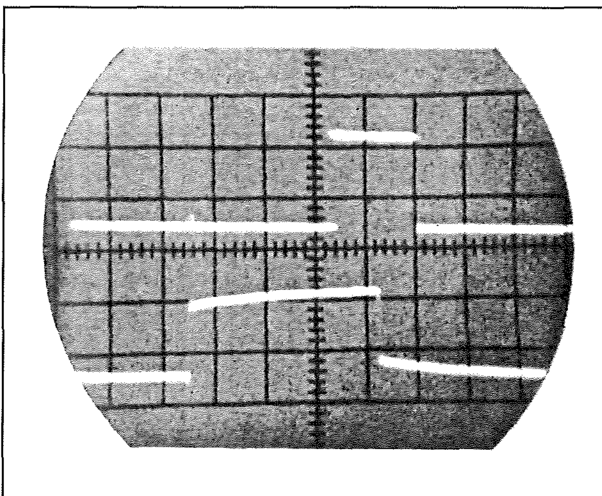


Figuur 3/13.2-20: Een integrator en een schmitt-trigger in de rol van tijdvertrager.

R1 en C1 vormen een integrator. De twee poorten zijn als schmitt-trigger geschakeld. In rust is de ingang "L" en de uitgang eveneens "L". Als de ingang een puls ontvangt wordt deze door de integrator vertraagd. Inderdaad zal C exponentieel van "L" naar "H" opladen. Het duurt dus een bepaalde tijd voor de triggerspanning van de poortschakeling is bereikt. De uitgangsspanning zal dus een welbepaalde tijd na de ingangsspanning ontstaan. Figuur 3/13.2-21 toont het resultaat van de schakeling.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

De vertraging van de puls wordt bepaald door de waarde van de condensator. De duur van de uitgangspuls is afhankelijk van de grootte van R1 en eveneens van de breedte van de ingangspuls.
Het zal duidelijk zijn dat u de schakeling zorgvuldig moet ontwerpen. Een puls van een microseconde breedte kunt u niet vertragen met een condensator van 1 μF!
Het opladen van deze grote condensator slorpt de hele ingangspuls op, zodat geen uitgang verschijnt. De waarden van R en C moeten dus voor ieder specifiek probleem worden bepaald.

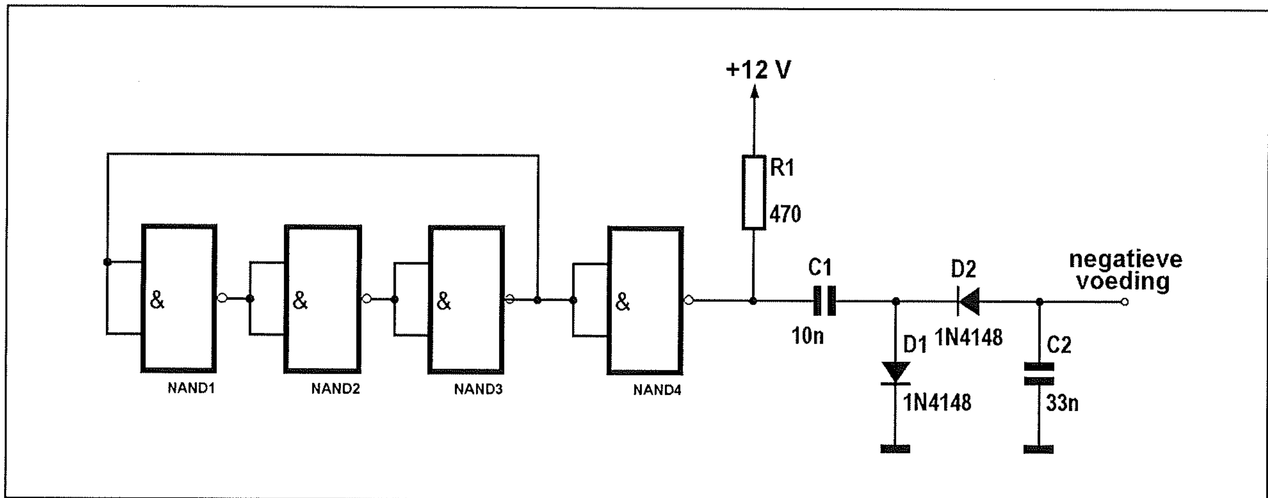


Figuur 3/13.2-21: De tijdvertrager van figuur 3/13.2-20 in actie: onder de ingang, boven de vertraagde uitgang.

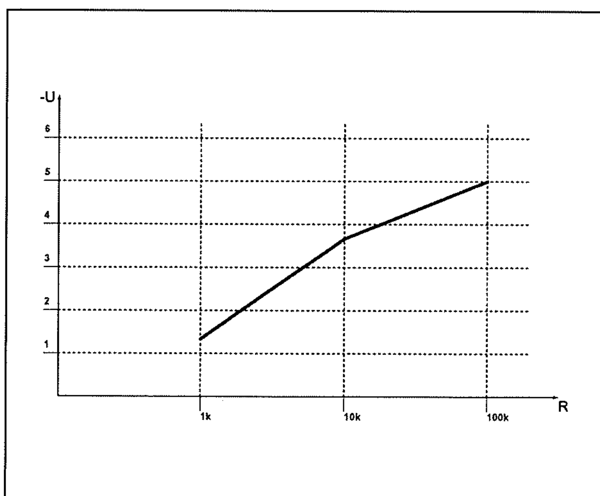
De 7400 als negatieve hulpvoeding

In veel schakelingen worden TTL-IC's gebruikt in combinatie met transistoren of lineaire IC's. Vaak moet u in dat geval over een negatieve hulpvoeding beschikken om bijvoorbeeld een transistor snel te sperren, of een geïntegreerde comparator te voeden. De klassieke TTL-voeding beschikt slechts over een gestabiliseerde spanning van +5 V en een ongestabiliseerde spanning van 9 V tot 12 V. Voor deze tweede negatieve voeding, die niet veel vermogen vraagt, zou dan een tweede trafo met voeding moeten worden ingebouwd. In figuur 3/13.2-22 is een goedkoop equivalent voor een negatieve voeding getekend.
De schakeling werkt als volgt. De drie eerste NAND's vormen een oscillator, die een zeer hoge frequentie genereert. Stel dat de ingang van de eerste poort "L" wordt. Ongeveer 10 ns later (= vertragingstijd van de eerste poort) wordt de uitgang van deze poort als gevolg van de ingangsverandering "H". Dit hoge niveau stuurt poort twee. De uitgang van deze poort wordt weer 10 ns later "L". De derde poort inverteert deze "L", maar eveneens met een vertraging van ongeveer 10 ns. De uitgang van de derde poort is rechtstreeks gekoppeld met de ingang van de eerste poort. 30 ns na het "L" worden van de ingang stuurt de derde poort een "H" op de ingang. Deze "H" doorloopt de gehele schakeling in 30 ns, waarna de ingang weer "H" wordt.
Samengevat levert deze schakeling een signaal met een periode van 60 ns, wat overeenkomst met een frequentie van ongeveer 17 MHz.
Poort 4 dient als buffer. De weerstand R is verbonden met de ongestabiliseerde voedingsspanning en zorgt voor een grotere signaalamplitude. De twee condensatoren vormen samen met de dioden de algemeen bekende spanningsverdubbeling schakeling.
In de grafiek van figuur 3/13.2-23 is de uitgangsspanning als functie van de belasting getekend. Hieruit blijkt dat de schakeling in staat is genoeg stroom te leveren voor de instelling van een transistor of FET. Meer dan dat hoeft u er echter niet van te verwachten!

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



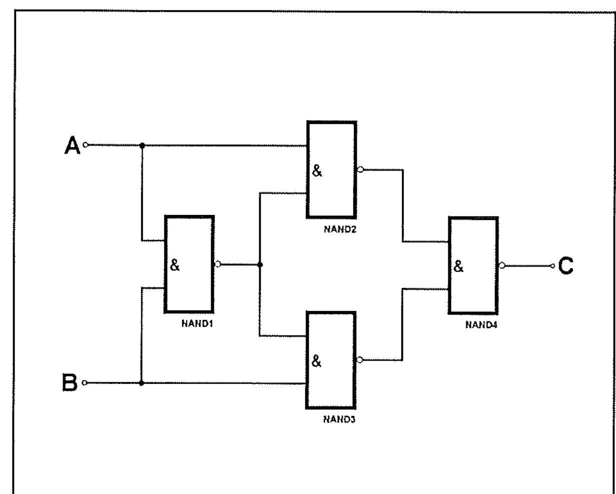
Figuur 3/13.2-22: Een negatieve hulpvoeding, samengesteld uit een VHF-oscillator, een buffer en een spanningsverdubbelaar.



Figuur 3/13.2-23: De uitgangsspanning blijft, tot een belasting van ongeveer 10 kΩ, lager dan -3 V.

De 7400 als digitale vergelijker

In digitale systemen komt het vaak voor dat u twee signalen met elkaar wilt vergelijken. Als deze aan elkaar gelijk zijn moet een schakeling worden gestuurd. De 7400 is goed bruikbaar voor dit soort werk. Figuur 3/13.2-24 toont de schakeling, in figuur 3/13.2-25 is de waarheidstabel getekend waaruit volgt dat de uitgang slechts dan "L" is, als beide ingangen A en B aan elkaar gelijk zijn. Voor de vier mogelijke combinaties kunt u gemakkelijk de logische werking van de schakeling nagaan. Dan zal blijken dat, alleen als de beide ingangen aan elkaar gelijk zijn, de poorten 2 en 3 een "H" aan poort 4 leveren, waardoor de uitgang C "L" wordt. Deze logische vergelijkerschakeling wordt "exclusieve or" genoemd en vindt veel toepassing in digitale rekentechnieken.



Figuur 3/13.2-24: Met de vier poorten uit een 7400 kunt u een digitale vergelijker maken.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

A	B	C
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	L

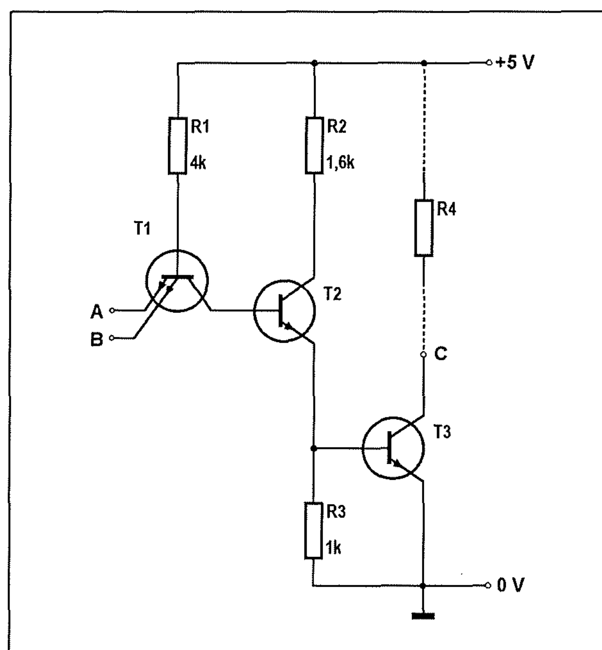
Figuur 3/13.2-25: De waarheidstabel van de schakeling van figuur 3/13.2-24.

7401

Theorie van de 7401

In figuur 3/13.2-26 is het inwendige van een 7401 poort weergegeven. Zoals u ziet is de ingangsschakeling rond T1 en T2 equivalent aan die van de 7400. De uitgang is evenwel eenvoudiger uitgevoerd. In plaats van de twee in serie geschakelde transistoren, die beurtelings geleiden en sperren, is hier slechts één transistor gebruikt. De collectorweerstand R4 zit niet in het IC, maar moet uitwendig aangebracht worden. Het is duidelijk dat dit aan de logische functie van de poort niets verandert. Slechts als beide ingangen "H" zijn, spert T1 waardoor T2 basisstroom krijgt via R1. De spanning over R3 brengt T3 in geleiding, zodat de uitgang "L" wordt. Dit is het typische NAND-gedrag.

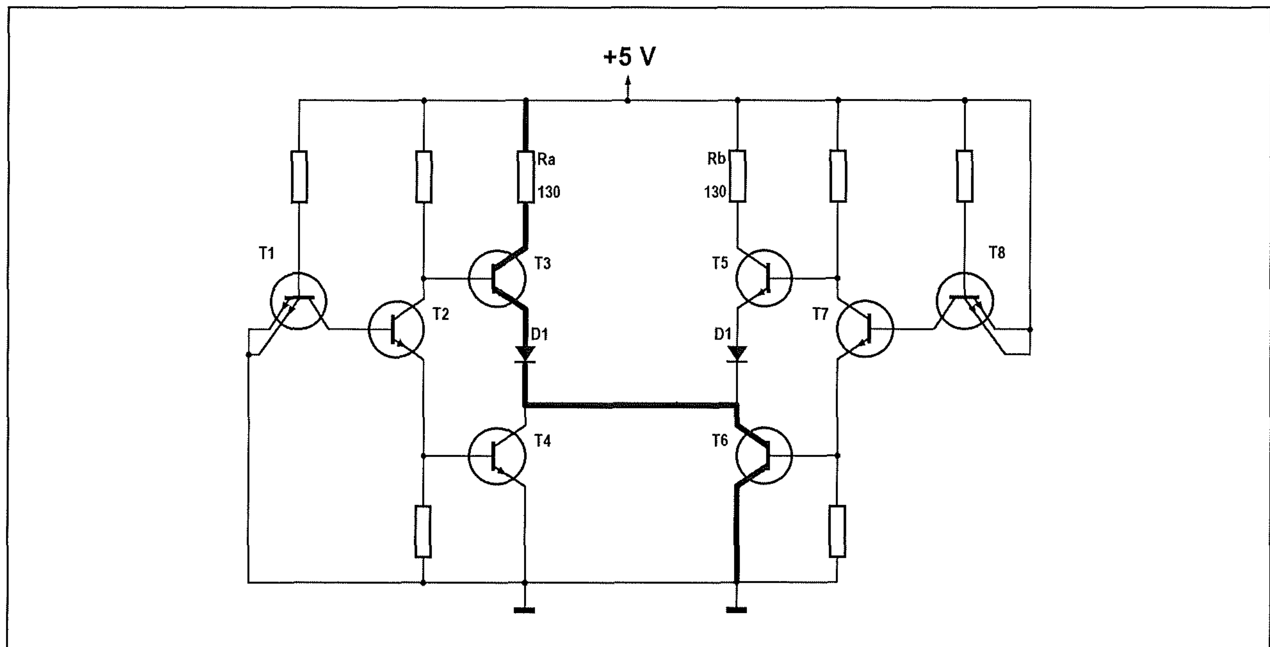
De reden van de op het eerste gezicht wat merkwaardige schakeling met uitwendige collectorweerstand moet op een ander vlak gezocht worden. Bij uitgebreide logische systemen komt het namelijk voor dat u belangrijke vereenvoudigingen kunt aanbrengen, als u de uitgangen van enige poorten parallel schakelt.



Figuur 3/13.2-26: Het schema van een 7401 poort.

Dit is met de NAND van het type 7400 niet mogelijk. In figuur 3/13.2-27 zijn twee van dergelijke poorten parallel geschakeld. Poort 1 heeft beide ingangen "L". De uitgang is dus "H", dat wil zeggen dat T3 geleidt. Poort 2 heeft de ingangen aan de voedingsspanning, de uitgang is "L", dus T6 geleidt. Omdat de uitgangen parallel geschakeld zijn vloeit er stroom door de keten Ra, T3 en T6. Deze stroom wordt alleen begrensd door de waarde van Ra en de spanningsval over de diode. Omdat de uitgang van een poort maximaal 16 mA kan verwerken in de "L"-toestand en de in figuur 3/13.2-27 vloeiende stroom veel groter is, kan het gebeuren dat een wat humeurig IC tegen deze behandeling protesteert door in eeuwige staking te gaan.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-27: Deze figuur probeert duidelijk te maken waarom u nooit ofte nimmer 7400 uitgangen parallel mag schakelen.

Om toch de mogelijkheid van parallel schakelen van poorten mogelijk te maken, hebben de ontwerpers de 7401 op de wereld gezet. Het zal duidelijk zijn dat parallel schakeling van uitgangen hier geen kwalijke gevolgen kan hebben. De stroom door de uitgangstransistor wordt bepaald door de waarde van R4 en deze heeft u zelf in de hand. Bij het bespreken van de praktische schakelingen wordt teruggekomen op het parallel schakelen van de poorten.

Waarde van de externe weerstand

Uiteraard stelt u zich de vraag hoe groot of klein u de collectorweerstand kunt kiezen. Dit is afhankelijk van de op de poort aangesloten belasting. Hoe groter de fan-out, dus hoe meer poortingangen aan de uitgang aangesloten zijn, hoe groter deze weerstand moet zijn. Dit lijkt paradoxaal, maar valt te verklaren uit het feit dat de ingang van een poort stroom levert aan de voorgaande poort in plaats van stroom te vragen! Zoals reeds geschreven mag transistor T3 uit figuur 3/13.2-26 maximaal 16 mA verwerken. Een poortingang levert een stroom van ongeveer 1,5 mA. Hoe meer poortingangen aangesloten zijn, hoe meer stroom T3 moet slikken en hoe groter de weerstand R4 moet zijn om de 16 mA grens niet te overschrijden.
Anderzijds mag deze weerstand ook niet te groot gekozen worden. Als T3 spert, is de poortuitgang "H". Door T3 en de eindtransistoren van eventueel parallel geschakelde poorten vloeien evenwel nog kleine lekstromen. Bovendien vloeien er nog stromen door de ingangen van de op deze uitgang aangesloten poorten. De som van deze stromen veroorzaakt een spanningsval over R4. Deze weerstand moet nu zo klein zijn, dat deze spanningsval kleiner is dan 2,6 V, zodat onder alle omstandigheden de uitgangsspanning groter is dan 2,4 V en een logische "H" verzekerd blijft.

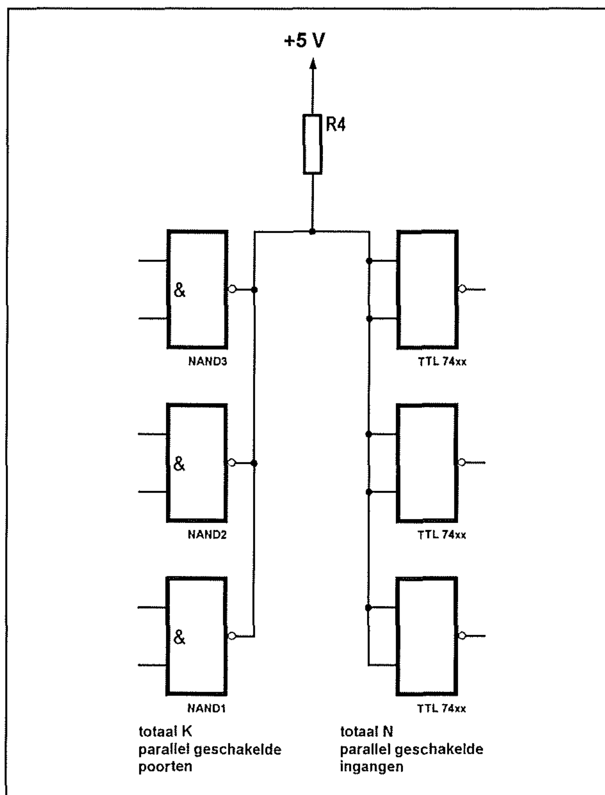
13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

Volgende formules bepalen de grenzen van R4:

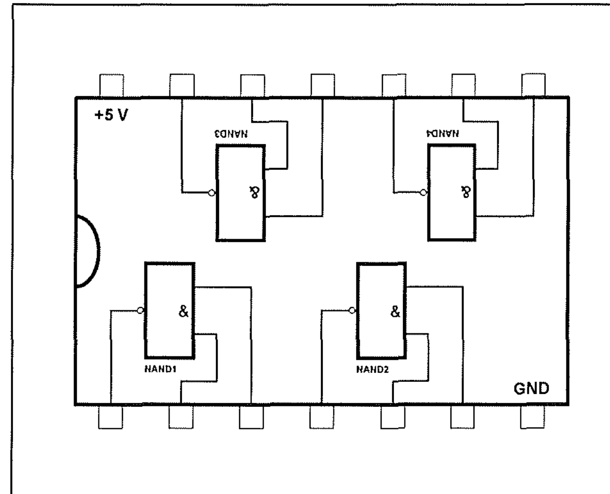
$R4_{(min)} = 4,6 / [16 - N * 1,6]$

$R4_{(max)} = 2,6 / [0,25 * K + 0,04 * N]$

Beide formules geven een weerstandswaarde in kΩ.
N staat voor het aantal ingangen van poorten, die de 7401 belasten. K staat voor het aantal parallel geschakelde 7401 poorten.
Een en ander wordt verduidelijkt aan de hand van figuur 3/13.2-28. In figuur 3/13.2-29 is het aansluitschema van de 7401 in bovenaanzicht gegeven.



Figuur 3/13.2-28: Aan de hand van deze figuur worden de grootheden van de twee formules voor het berekenen van R4 misschien wat duidelijker.



Figuur 3/13.2-29: Aansluitgegevens van de 7401.

De 7401 als lampdriver

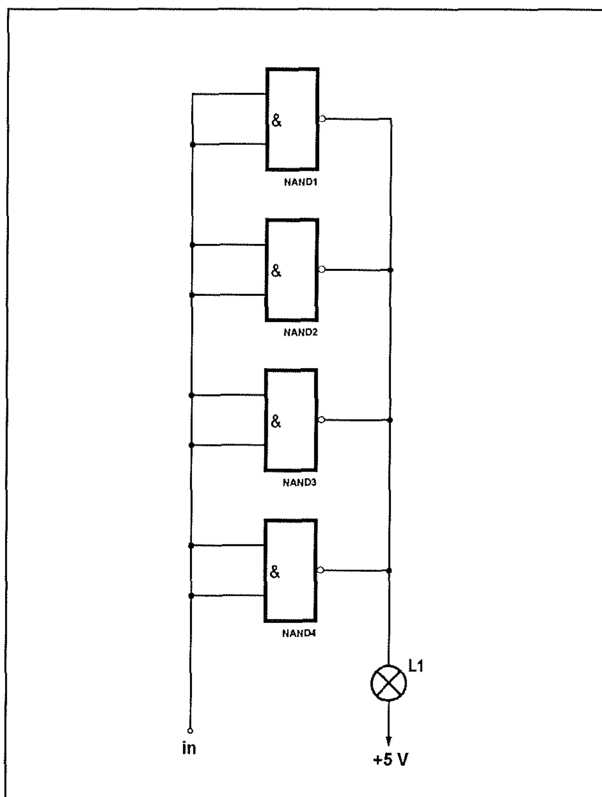
Door het parallel schakelen van meerdere poorten wordt uiteraard de belastingscapaciteit van het geheel vergroot. Zo wijst figuur 3/13.2-30 op een mogelijkheid om een normaal 6 V - 50 mA lampje direct uit een IC te sturen. Als de ingang "H" is geleiden alle uitgangstransistoren zodat het lampje met massa verbonden wordt en gloeit. Omdat de vier poorten broederlijk verenigd op één stukje halfgeleidermateriaal door het leven gaan, hebben ze identieke parameters, zodat de stroom zich netjes in vier gelijke delen verdeelt.

De 7401 als LED-driver

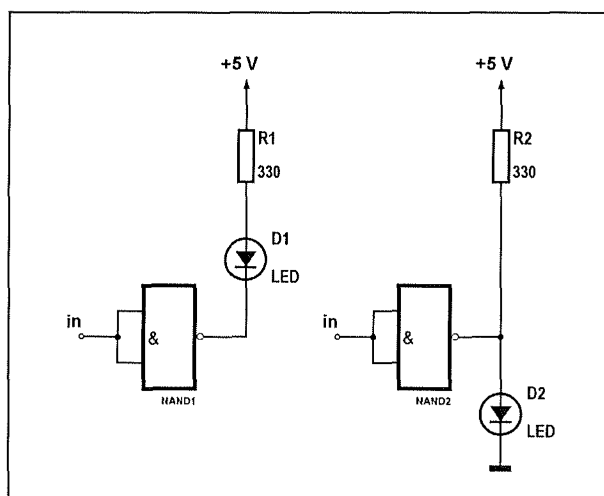
Ook voor het aansturen van hoogvermogen LED's kunt u de 7401 uiteraard als driver inschakelen. Figuur 3/13.2-31 leert u hoe het hoort. Bij de rechtse schakeling zal de LED branden als aan de ingangen van de poort een "H" niveau wordt aangelegd. De linkse schakeling reageert op een "L" aan de ingang met een opgloeiende LED. Over de geleidende lichtdiode staat een spanning van ongeveer 1,5 V. De weerstand van 330 Ω

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

zorgt voor een effectieve begrenzing van de stroom.



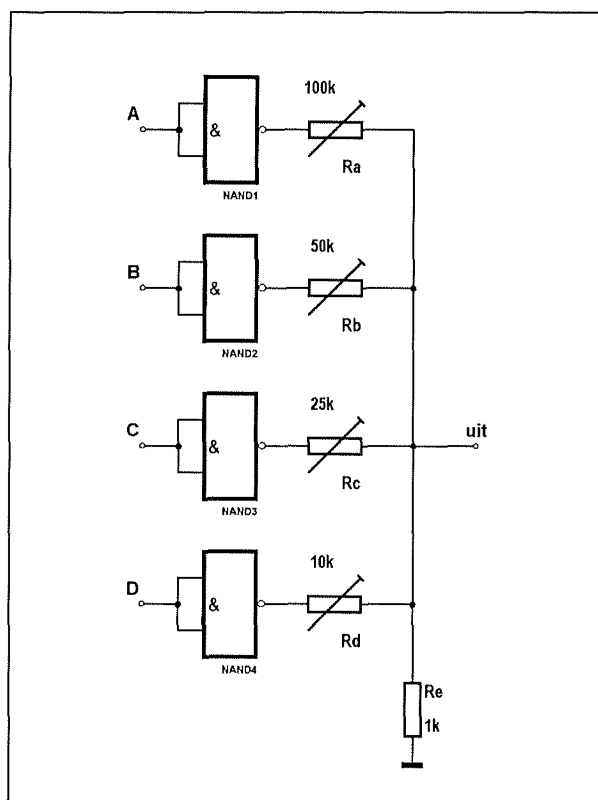
Figuur 3/13.2-30: Met vereende krachten sturen vier 7401 poorten een gloeilampje aan.



Figuur 3/13.2-31: Twee methodes voor het aansturen van LED's uit een 7401.

De 7401 als trapspanningsgenerator

Op een trapspanning, alhoewel nog steeds behorend tot de buitenbeentjes onder de pulsvormen, wordt in allerhande schakelingen steeds meer een beroep gedaan. Te denken valt aan curvetracers (basisstroomsturing), meerkanaalsoscilloscopen (verplaatsing van de straal) en displaysystemen (naast elkaar projectie van dezelfde symbolen op een TV-scherm).
Hoewel de 7401 een typische logische schakeling is en dus slechts in "L" en "H" termen denken kan, volstaan vier instelpotentiometers en een vaste weerstand om dit digitale isolement te doorbreken. Figuur 3/13.2-32 toont deze zeer eenvoudige schakeling.

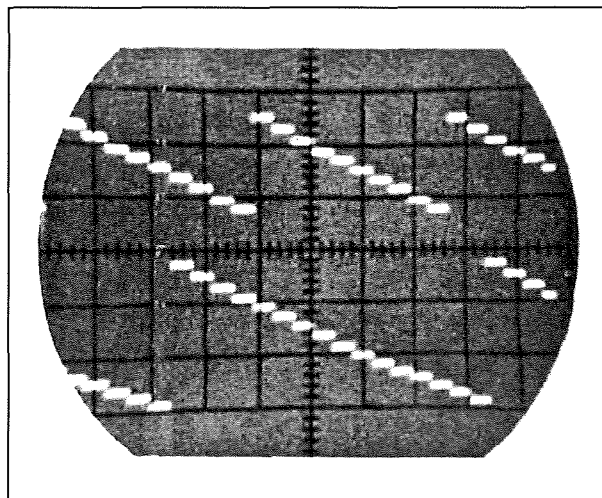


Figuur 3/13.2-32: Een 7401 geschakeld als supereenvoudige, maar af te regelen, digitaal naar analoog omzetter.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

Vier 7401 poorten zijn via vier instelpotentiometers met een gemeenschappelijke belastingsweerstand verbonden. De ingangen van de poorten worden met de BCD-uitgangen van een digitaal telsysteem verbonden. Te denken valt aan de tienteller 7490 of de zestiendeler 7493. Als u deze tellers met een klokfrequentie stuurt, ontstaat er over de belastingsweerstand een spanningsvorm die u door nauwkeurig afregelen van de potentiometers in een keurige trap kunt omvormen.
Daarvoor is nodig dat de trimmers als volgt worden ingesteld.
Rc = 2 * Rd
Rb = 4 * Rd
Ra = 8 * Rd
Dit is met een universeelmeter een eenvoudige klus.
De werking van het systeem is vrij duidelijk. Als A = B = C = D = "L" sperren de vier poorten. Er vloeien geen stromen, zodat de uitgang 5 V voert. Wordt bij de eerste klokpuls A = "H", dan zal de uitgang van poort A "L" worden. Door Ra en Re vloeit een stroom i, waardoor over Re een spanningsval V ontstaat. Gevolg is dat de uitgang het niveau 5 V - V voert. Bij de volgende klokpuls wordt A weer "L", maar schakelt B naar het "H"-niveau. De uitgang van poort B wordt "L" en er vloeit stroom door de keten Re-Rb. Omdat Rb de helft is van Ra en Re verwaarloosbaar klein is, stijgt de stroom tot de waarde 2 * i. De spanningsval over Re wordt bijgevolg 2 * V.
Bij de derde klokpuls worden A en B "H", zodat de uitgangen van de poorten A en B "L" worden. Door Ra vloeit een stroom i en door Rb een stroom 2 * i. De totale stroom door Re is bijgevolg 3 * i en de spanningsval over deze weerstand 3 * V.

Besluitend kunt u stellen dat bij iedere volgende klokpuls de stroom door Re met een portie i toeneemt. De spanning aan de uitgang neemt telkens met een fractie V af. Op deze manier wordt de vorming van een trapspanning verklaard. De grootte van de treden is V.
Voorwaarde is, behalve de boven omschreven weerstandswaarden, dat aan de vier ingangen signalen worden aangelegd die volgens de BCD-code evolueren. Daarom is het systeem niet aan te sturen met een 7492. Deze twaalfdeler werkt volgens een afwijkend principe, de uitgangen zijn niet BCD gecodeerd! De resultaten, met deze schakeling verkregen, worden geopenbaard in figuur 3/13.2-33. De tijdbasis was ingesteld op 0,2 ms/cm, de spanningsschaal is 0,2 V/cm.



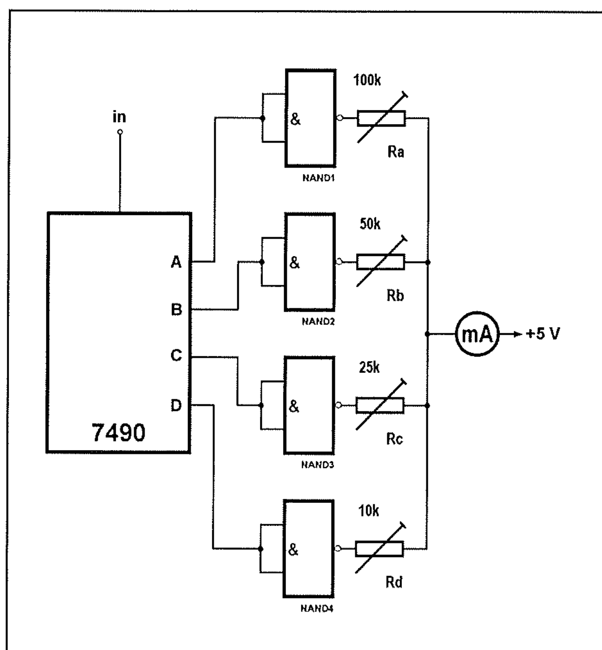
Figuur 3/13.2-33: Het resultaat van figuur 3/13.2-32, de a-lineariteit wordt veroorzaakt door de invloed van Re. Een verkleining van deze weerstand komt de lineariteit ten goede.

De 7401 als 7490 tester

Een snelle test van een 7490 tiendeler is alleen mogelijk met een oscilloscoop.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

Als u een dergelijk apparaat niet bezit kunt u zich behelpen met de hierboven beschreven schakeling. Inderdaad is deze trapspanningsgenerator niets anders dan een zeer eenvoudige digitaal naar analoog omzetter. Iedere inhoud van de digitale informatie A, B, C en D wordt vertaald in een ondubbelzinnig bepaalde spanning aan de uitgang. Vervangt u de weerstand Re door een mA meter, dan is de meteruitslag bepalend voor de binaire combinatie aan de ingang.
In figuur 3/13.2-35 is het principe van de tienteller tester getekend. Een universeelmeter, geschakeld op het 1 mA bereik, wordt tussen 5 V en het knooppunt van de afgeregelde instelpotentiometers geschakeld.



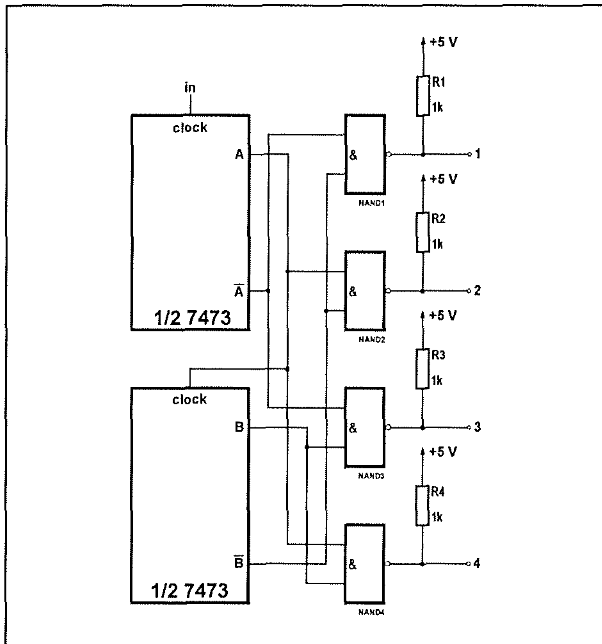
Figuur 3/13.2-34: Een 7401 vormt een simpele mA meter om in een volwaardige tienteller tester.

De ingangen van de 7401 worden met de uitgangen van de te testen 7490 verbonden. De ingang van dit laatste IC wordt met een 1 Hz klokpulsgenerator verbonden. Als nu de meteruitwijzing bij iedere klokpuls met een gelijk bedrag toeneemt, kunt u besluiten dat alle uitgangen van de tienteller doen wat van hen verwacht wordt. Uiteraard zegt deze test niets over de HF eigenschappen van het IC. U kunt er alleen uit concluderen dat de schakeling logisch goed functioneert.

De 7401 als ringteller

Het principe van een ringteller is vrij eenvoudig. Deze schakelingen leveren een aantal uitgangen die om beurt "H" of "L" worden op het ritme van een klokpuls. De duur van deze verandering is gelijk aan de periode van de klokpuls. Dit proces herhaalt zich cyclisch. Uiteraard staan voor het verwezenlijken van deze schakeling geïntegreerde schuifregisters ter beschikking. Heeft u echter niet meer dan vier ringuitgangen nodig, dan kan een combinatie van twee prijsgunstige IC's dit werk opknappen. Een van die twee is uiteraard de 7401, de andere is de dubbele flip-flop 7473. In figuur 3/13.2-35 is de schakeling weergegeven. De 7473 is als vierdeler geschakeld. Iedere poort is verbonden met een specifieke uitgang van de eerste flip-flop en met een specifieke uitgang van de tweede. De waarheidstabel van figuur 3/13.2-36 toont duidelijk het ontstaan van de vier gewenste ringpulsen.
Poort 1 is met $\overline{A}$ en $\overline{B}$ verbonden. Deze twee signalen zijn slechts gedurende de eerste klokpuls beide "H". De uitgang van poort 1 is bijgevolg slechts dan "L". Door de keuze van de specifieke verbindingen tussen de FF's en de poorten stelt u vast dat de "L"-toestand de vier uitgangen doorloopt. Bij de vijfde klokpuls wordt uitgang 1 wederom "L" en zo verder.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



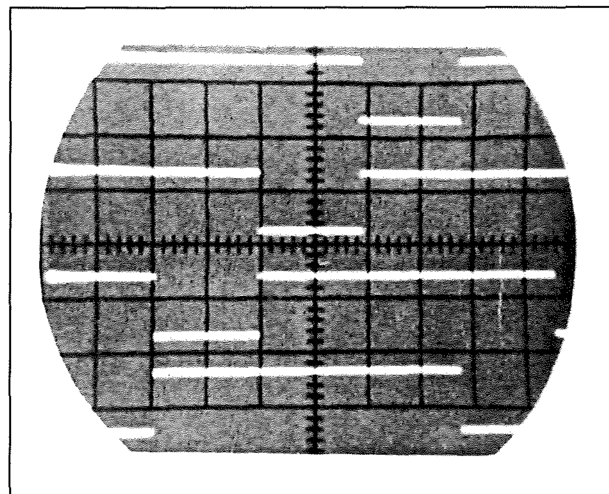
Figuur 3/13.2-35: Een ringteller wordt samengesteld uit een 7401 en 7473.

A	Ā	B	B̄	1	2	3	4
L	H	L	H	L	H	H	H
H	L	L	H	H	L	H	H
L	H	H	L	H	H	L	H
H	L	H	L	H	H	H	L

Figuur 3/13.2-36: De waarheidstabel van de schakeling van figuur 3/13.2-35.

In figuur 3/13.2-37 zijn de vier uitgangen van onder naar boven op het scoopscherm weergegeven.
Het is duidelijk dat deze toepassing eveneens met een 7400 mogelijk is. U spaart dan de vier belastingsweerstanden uit.

Wilt u eventueel met het systeem belastingen sturen, dan is de 7401 natuurlijk economischer. De belastingsweerstanden worden dan vervangen door miniatuurrelais, die dadelijk door de poort bekrachtigd worden. De relaiscontacten schakelen de belastingen in en uit.



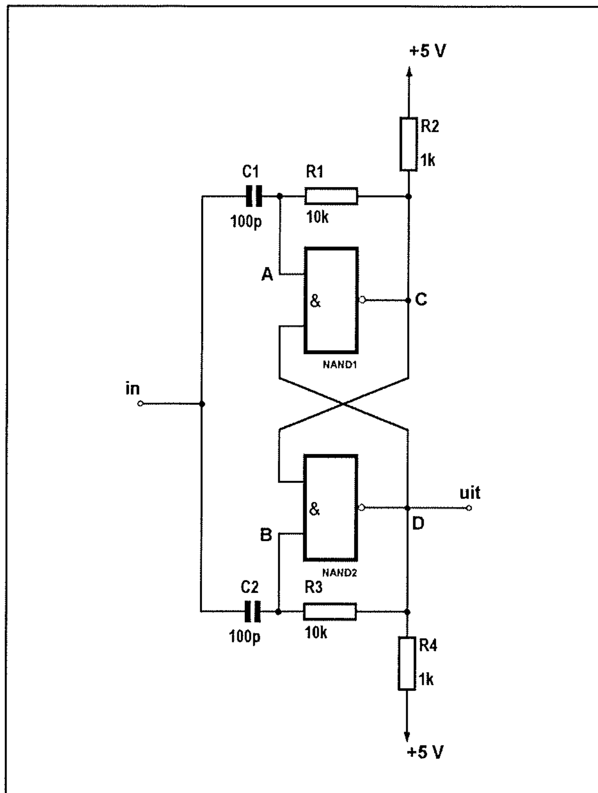
Figuur 3/13.2-37: Familieportret van de vier uitgangen van de ringteller.

De 7401 als AC flip-flop

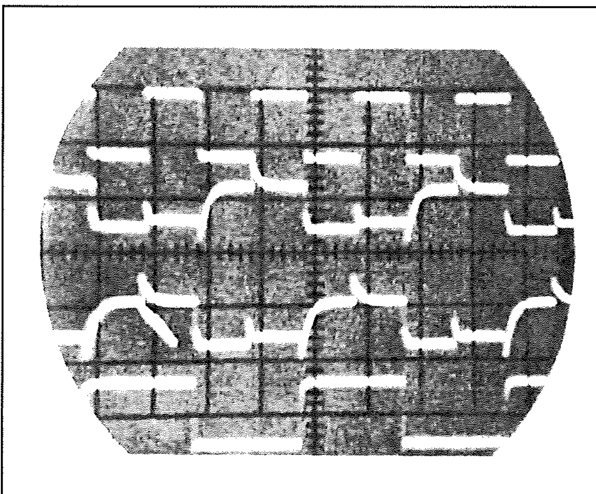
De RS flip-flop, besproken bij de 7400, heeft slechts beperkte toepassingsmogelijkheden. Een van de grootste nadelen is dat twee triggersignalen nodig zijn. Een schakeling die slechts één triggeringang heeft is weergegeven in figuur 3/13.2-38. Het is een zogenaamde AC flip-flop, die is opgebouwd rond twee 7401 poorten. De schakeling wordt als tweedeler gebruikt. De werking wordt besproken aan de hand van figuur 3/13.2-39.
Stel dat de uitgang van de schakeling "H" is. Het punt C is dan "L". Ingang B is eveneens "H", omdat deze ingang via R3 met de uitgang verbonden is. Ingang A van poort a voert eveneens een positieve spanning. Alhoewel C "L" is, bouwt de lekstroom van de ingangstransistor over

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

de grote weerstand R1 zo'n grote spanning op dat ingang A logisch "H" is. Uiteraard is deze spanning veel kleiner dan de normale "H" van ongeveer 4 V.



Figuur 3/13.2-38: Een halve 7401 geschakeld als tweedeler.



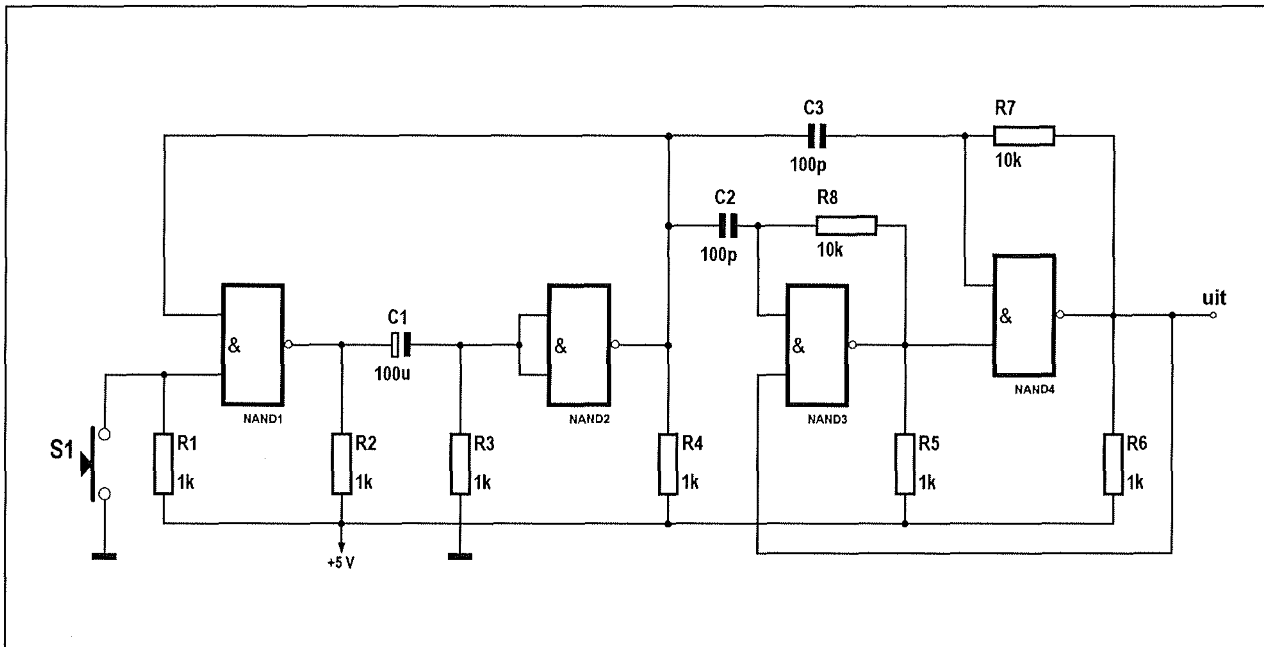
Figuur 3/13.2-39: De golfvormen in de schakeling van figuur 3/13.2-38.

De ingang wordt met een vierkantsgolf gestuurd. De netwerken C1-R1 en C2-R3 vormen differentiatoren. Van de blokgolven blijven bijgevolg alleen de overgangen als naaldpulsen over. Een positieve overgang resulteert in een positief gerichte naaldpuls op A en B. Omdat beide ingangen reeds "H" zijn, gebeurt er niets. Bij een achterflank evenwel komt de negatieve naaldpuls op A en B. De spanning op B is echter zo positief, dat het niveau niet onder de "H" waarde daalt. De negatieve naaldpuls is wel in staat ingang A, die zoals geschreven een kleinere spanning voert, "L" te maken. Het gevolg is dat C "H" wordt. Beide ingangen van poort 2 zijn "H", zodat de uitgang "L" wordt. De flip-flop is omgeklapt.
Besluitend kunt u zeggen dat de schakeling bij iedere negatieve achterflank van de ingangspuls zal omklappen. De frequentie van de uitgang is dus de helft van die van het ingangssignaal: de schakeling werkt als tweedeler. Door cascadeschakeling van meerdere delers zijn 4-, 8-, en 16-delers te vormen. Het volstaat de uitgang van de eerste schakeling met de ingang van de tweede te verbinden en zo verder.

De 7401 als aan-uit schakelaar

Met een 7401 kunt u een schakeling opbouwen, waarmee u met een drukknop allerhande functies kunt in- en uitschakelen. De schakeling is in figuur 3/13.2-40 getekend. De poorten 1 en 2 vormen een monostabiele multivibrator, die reeds uitvoerig besproken is bij de 7400. De poorten 3 en 4 zijn als tweedeler geschakeld. De MMV zorgt voor een effectieve onderdrukking van de denderpulsen van de druktoets. De werking is vrij eenvoudig.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

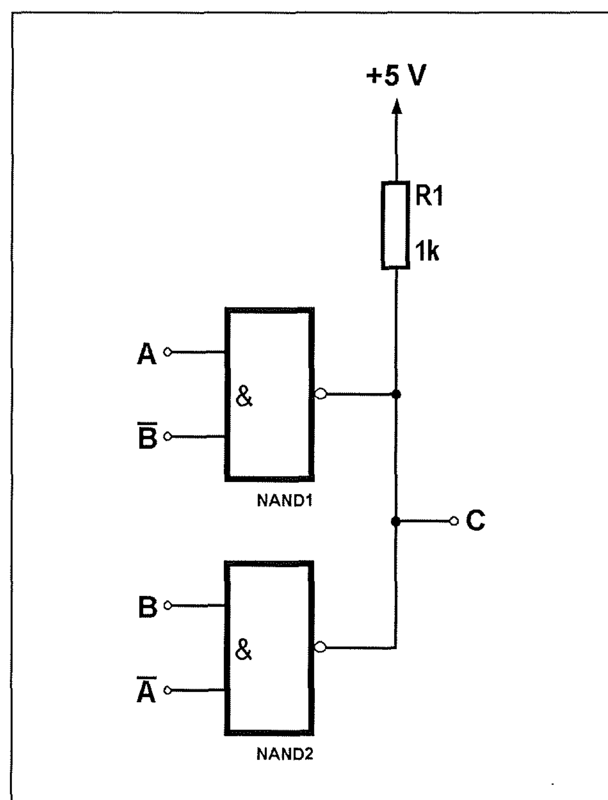


Figuur 3/13.2-40: Een aan- en uitschakelaar die u met één drukknop kunt bedienen.

Iedere keer als u de drukknop bedient, verschijnt aan de uitgang van poort 2 een negatieve puls die de flip-flop triggert. Deze schakeling slaat bijgevolg bij iedere druk om.

De 7401 als binaire vergelijker

Bij de bespreking van de 7400 werd reeds het begrip binaire vergelijker ter sprake gebracht. Dit is een schakeling die een uitgangspuls geeft als twee logische signalen aan elkaar gelijk zijn. Met twee 7401 poorten, parallel geschakeld, kunt u eveneens zo'n vergelijker samenstellen. De schakeling wordt belicht aan de hand van de figuren 3/13.2-41 en -42. U weet dat de uitgangstransistor van een poort geleidt, als beide ingangen "H" zijn. Dit doet zich voor in de tweede situatie, waar A en $\overline{B}$ "H" zijn, zodat de uitgang C door poort 1 op "L"-niveau gehouden wordt. Dezelfde situatie ontvouwt zich in de derde toestand, maar dan is het poort 2 die de uitgang laag houdt.



Figuur 3/13.2-41: Een eenvoudige binaire vergelijker met twee 7401 poorten.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

Samenvattend kunt u besluiten dat de uitgang van de schakeling "H" is, als A en B aan elkaar gelijk zijn.

A	$\overline{A}$	B	$\overline{B}$	C
L	H	L	H	H
H	L	L	H	L
L	H	H	L	L
H	L	H	L	H

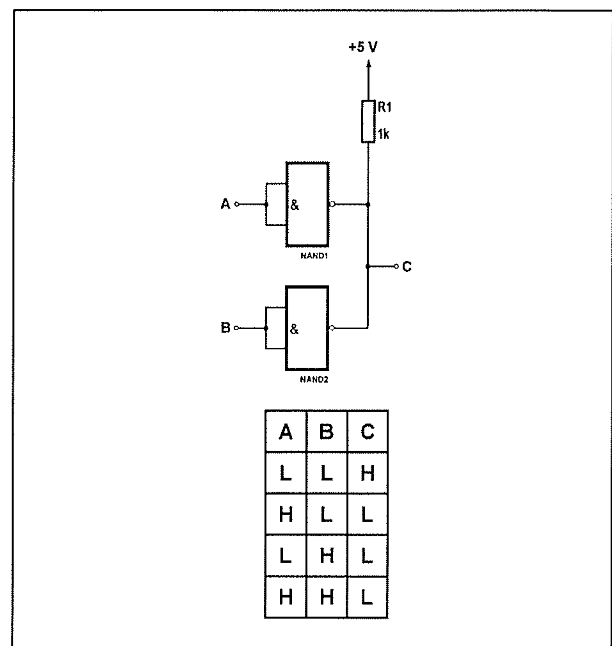
Figuur 3/13.2-42: De waarheidstabel van figuur 3/13.2-41.

De 7401 als NOR

Door het parallel schakelen van twee poorten wordt een NOR-element gevormd, zie figuur 3/13.2-43. Zoals u weet kenmerkt een NOR zich door slechts dan een "H" te leveren, als alle ingangen "L" zijn. Het is vrij snel in te zien dat de getekende schakeling aan deze voorwaarde voldoet. In dit verband is het grappig op te merken dat het parallel schakelen van 7401 poorten in het Engels wordt aangeduid door de benaming "wired-or", terwijl duidelijk is dat de verkregen functie een NOR is!

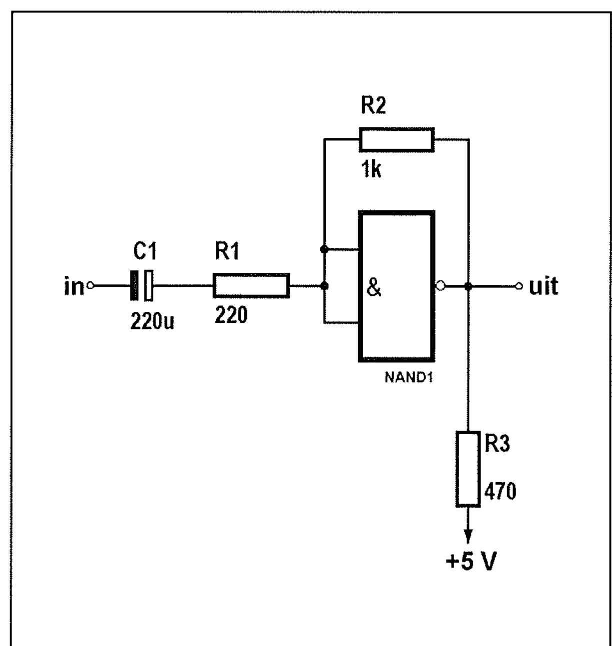
De 7401 als lineaire versterker

Iedere actieve elektronische schakeling te herleiden tot een versterker. Een TTL-poort kunt u beschouwen als een zeer breedbandige versterker met hoge versterkingsfactor. Door deze hoge versterking wordt de uitgang in verzadiging gestuurd of niet gestuurd, afhankelijk van de ingangsspanning. Slaagt u er in deze versterkingsfactor te temperen, dan kan de schakeling als gewone versterker worden toegepast. Dit is eenvoudig te verwezenlijken door een forse tegenkoppeling over de poort te schakelen. In figuur 3/13.2-44 zorgt een weerstand van 1 kΩ tussen in- en uitgang van de poort voor deze terugkoppeling.



A	B	C
L	L	H
H	L	L
L	H	L
H	H	L

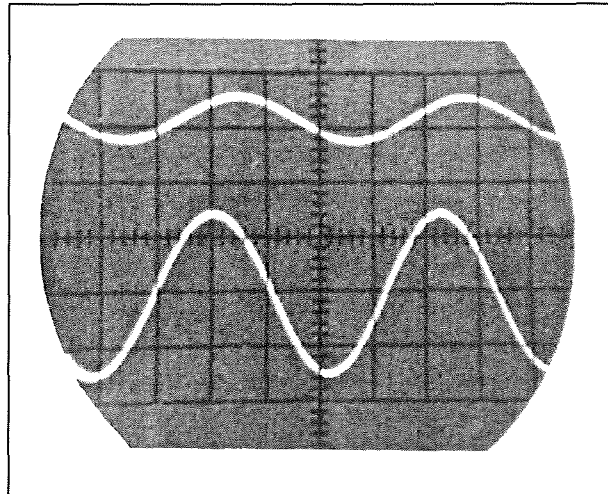
Figuur 3/13.2-43: Twee 7401 poorten transformeren zichzelf tot een NOR.



Figuur 3/13.2-44: Een TTL-poort als lineaire versterker.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

De poort is nu eigenlijk gedegradeerd (of bevorderd?) tot een eenvoudige op-amp. De versterking wordt bepaald door de verhouding van de tegenkoppelweerstand R2 tot de ingangsweerstand R1. Uiteraard heeft deze schakeling zijn beperkingen. Omdat de weerstanden in de keten klein moeten blijven, bij gebruik van standaard 74xx-schakelingen, zal ook de ingangsimpedantie klein zijn, zodat de waarde van de koppelcondensator C1 zeer groot moet zijn om ook bij lage frequentie een redelijke versterking te behouden. Anderzijds heeft deze schakeling het voordeel van een grote bandbreedte zodat ze zonder meer als extra trap in een FM middenfrequent versterker ingezet kan worden. Bij dergelijke frequenties kan de koppelcondensator klein blijven en zijn de lage in- en uitgangsimpedanties eerder een voordan een nadeel.
Cascade schakeling van verschillende trappen is in principe mogelijk, al is het gevaar van oscillaties vrij groot omdat de verschillende poorten op één chip gemonteerd zijn zonder voldoende afscherming voor dergelijke toepassingen. Figuur 3/13.2-45 toont in- en uitgang van deze schakeling bij een frequentie van 1 MHz. De spanningsschaal is 0,2 V/cm.

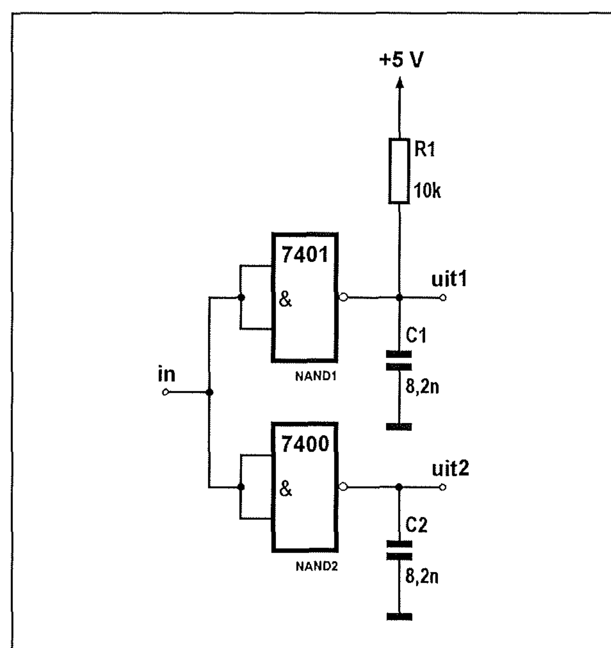


Figuur 3/13.2-45: Het versterken van een signaal met een frequentie van 1 MHz met een 7401.

Vergelijken van de 7401 met de 7400

Bij vergelijking van de toepassingen van de 7400 en de 7401 kunt u besluiten dat een 7401 wel een 7400 is, maar een 7400 niet noodzakelijk een 7401 is. De 7401 is zonder meer de meest universele TTL-poortschakeling. Niet alleen voert hij de normale NAND opdrachten uit, maar door de "wired-or" mogelijkheid is zijn toepassingsgebied veel groter dan dit van de 7400.

Iedere 7400 toepassing kan de 7401 uitvoeren. Wel moet u steeds de uitwendige belastingsweerstanden aanbrengen.
Een nadeel van de enkelvoudige uitgang is uiteraard dat de stijgtijd van de voorflank van de uitgangspuls afneemt. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van figuur 3/13.2-46.

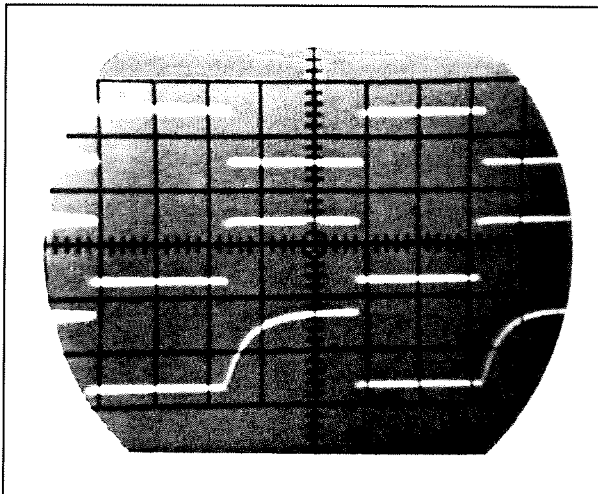


Figuur 3/13.2-46: 7400 en 7401 vergeleken.

(wordt vervolgd)

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

De ingangen van een 7400 poort en een 7401 poort worden parallel geschakeld. In beide gevallen wordt de uitgang capacitief belast. Om het beoogde effect zichtbaar te maken is deze belasting buitensporig groot gekozen. Feit is echter dat deze capacitieve belasting steeds in meer of mindere mate aanwezig is, onder de vorm van bedradingscapaciteiten. Als de ingang met mooie rechthoekpulsen wordt aangestuurd, toont figuur 3/13.2-47 het resultaat.



Figuur 3/13.2-47: Het resultaat van de vergelijking: de 7400 is duidelijk in het voordeel!

De 7400 poort (midden) inverteert het signaal probleemloos, terwijl de 7401 poort (onder) duidelijk moeilijkheden heeft. De verklaring is eenvoudig. Als de ingang "H" is, geleiden de beide naar massa geschakelde uitgangstransistoren. De uitgangsspanning is "L". Wordt de ingang "L", dan zal bij de 7400 poort de bovenste transistor van de totem-pole schakeling geleiden, waardoor de condensator zeer snel opgeladen wordt. Bij de 7401 poort heeft omschakelen van de ingang slechts het sperren van de uitgangstransistor tot gevolg, zodat de condensator opgeladen wordt door de uitwendige belastingsweerstand. Omdat deze een veel grotere waarde heeft dan de restweerstand van de geleidende totem-pole transistor, wordt de stijgtijd evenredig slechter.

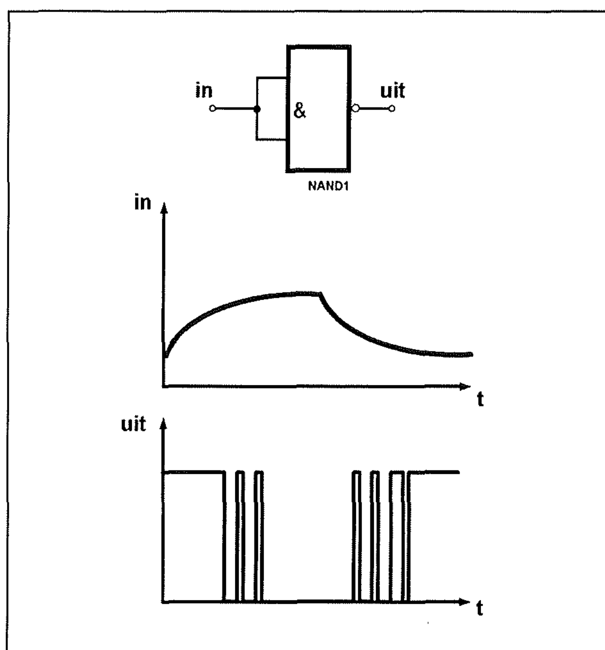
7413

Theorie van de 7413

De 7413 bevat twee NAND-poorten met schmitt-trigger ingangen. De eerste vraag die beantwoord moet worden is waarom er behoefte bestaat aan een schmitt-trigger in geïntegreerde vorm. Dit is een gevolg van een van de enige nare eigenschappen van de digitale TTL-IC's: deze moeten door zeer snelle pulsen gestuurd worden. Met snel wordt verstaan, dat de overgang van het "L"-niveau naar het "H"-niveau (en vice versa), de stijgtijd dus (of de daaltijd), kleiner moet zijn dan 1 µs. Schakelingen opgebouwd uit transistoren en dioden leveren pulsen die niet aan deze voorwaarde voldoen.

Stuurt u dergelijke "slome" pulsen in TTL-IC's, dan leert figuur 3/13.2-48 wat er kan gebeuren. Aan de uitgang van het IC ontstaan oscillaties, die de digitale schakeling volledig kunnen ontwrichten. De oorzaak van deze oscillaties is dat het IC gedurende de te lange stijgtijd in zijn lineair gebied wordt ingesteld, waardoor het als oscillerende versterker werkt. Om de TTL-IC's toch met trage transistorsignalen te kunnen sturen, werd de 7413 ontwikkeld. Door een speciale inwendige schakeling kan dit IC aangestuurd worden door gelijk welk signaal, zonder oscilleergevaar aan de uitgang. Aan de stijg- en daaltijden worden geen grenzen gesteld!

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-48: Gewone TTL-poorten kunt u niet met trage signalen aansturen, er ontstaan oscillaties op de uitgang.

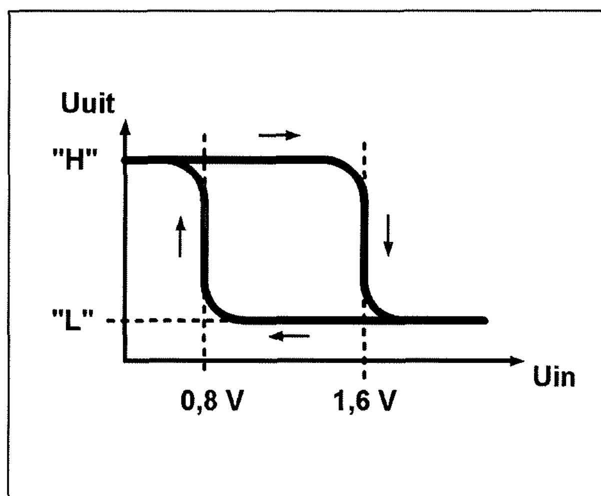
Logisch bekeken werkt de 7413 als een NAND-poort met vier ingangen. Dit betekent dat de uitgang slechts dan "L" is, als alle ingangen "H" zijn. Zijn één of meer ingangen "L", dan is de uitgang "H".

Het begrip hysteresis

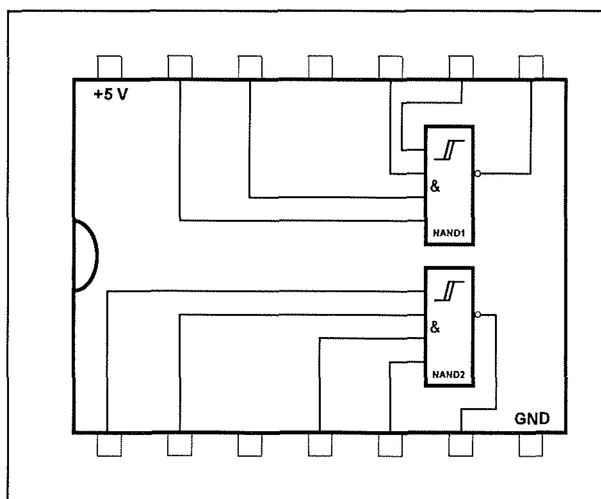
Het enige verschil met een gewone NAND-poort is, dat aan de begrippen "L" en "H" aan de ingang een andere betekenis moet worden toegekend. Figuur 3/13.2-49 verduidelijkt een en ander. In deze grafiek is de uitgangsspanning uitgezet in functie van de ingang. Zolang de ingang kleiner is dan 1,6 V, is de uitgang logisch "H". Overschrijdt de ingang deze drempel, dan wordt de uitgang "L". Als de ingangsspanning weer daalt, gebeurt het omschakelen niet bij 1,6 V maar bij 0,8 V. Dit spanningsverschil tussen in- en uitschakelen noemt men de "hysteresis" en is een eigenschap van alle schmitt-triggers. Bij de 7413 is de hysteresis dus 0,8 V.

Om dit beetje theorie af te sluiten zij nog vermeld dat de waarde van in- en uitschakelniveau, alsmede de grootte van de hysteresis spanning, thermisch gecompenseerd zijn. De fan-out is, zoals bij de meeste 74xx-IC's, gelijk aan tien.

In figuur 3/13.2-50 zijn de aansluitingen van dit IC weergegeven. De aansluitpennen 3 en 11 worden niet gebruikt.

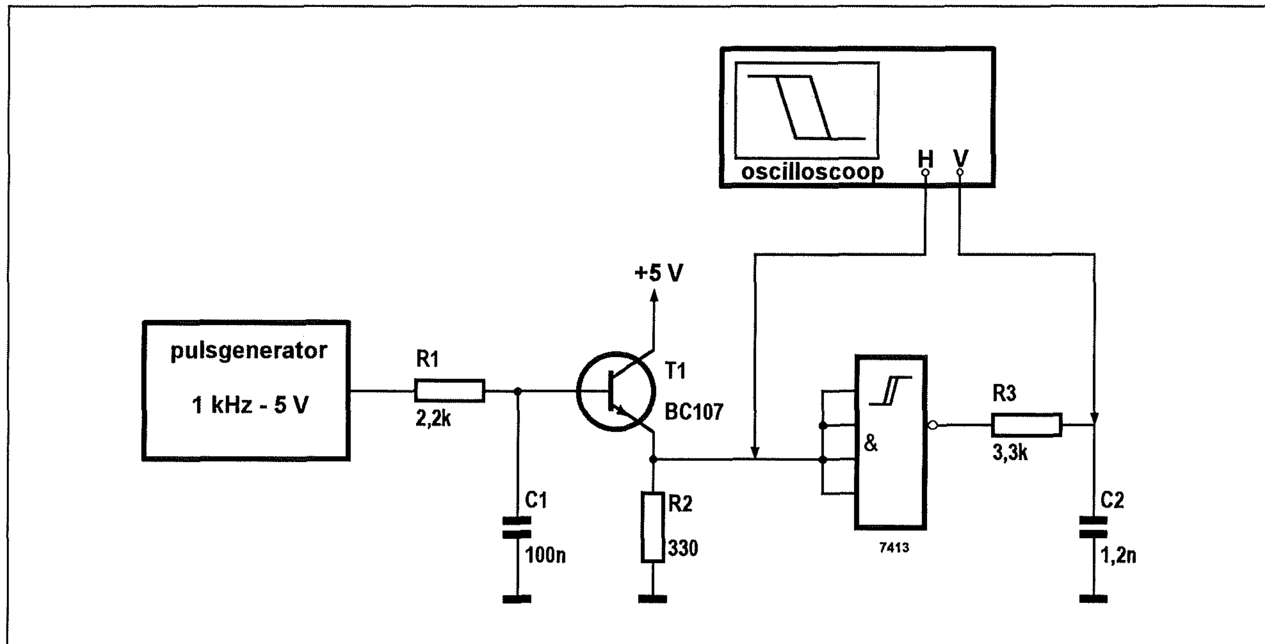


Figuur 3/13.2-49: Het hysteresis verschijnsel grafisch toegelicht.



Figuur 3/13.2-50: De aansluitgegevens van de 7413.

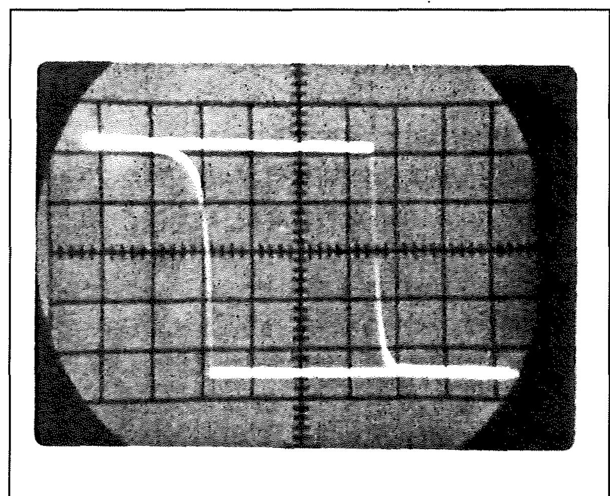
13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-51: Met deze eenvoudige schakeling kunt u de transferkarakteristiek van een 7413 op het scherm van uw scoop zetten.

Testen van een 7413

Uit het voorgaande volgt dat u uit de grafiek van figuur 3/13.2-49 alle eigenschappen van het IC kunt afleiden. Is van een bepaald IC deze grafiek niet zoals het hoort, dan is er iets mis en is het zaak dit IC door een beter exemplaar te vervangen.
Uiteraard is het handig op de een of andere manier deze transferkarakteristiek, zoals figuur 3/13.2-49 officieel heet, op het scherm van een scoop weer te geven. Dit laat een snelle test van de schmitt-trigger toe. In figuur 3/13.2-51 is een schakelingetje getekend, waarmee dit kan. Een pulsgenerator levert een blokspanning van 1 kHz en 5 V amplitude. Dit blok wordt door een differentiator omgevormd in een soort driehoekspanning, die het te testen IC stuurt via een emittervolger. Deze spanning stuurt eveneens de horizontale versterker van de scoop. Uiteraard wordt de tijdbasis uitgeschakeld. De uitgang van het IC wordt eveneens gedifferentieerd, al is dit niet noodzakelijk. Dit is enkel gedaan om een duidelijke foto van het schermbeeld te kunnen maken.



Figuur 3/13.2-52: Deze "röntgenfoto" van een 7413 is karakteristiek voor een gezond IC.

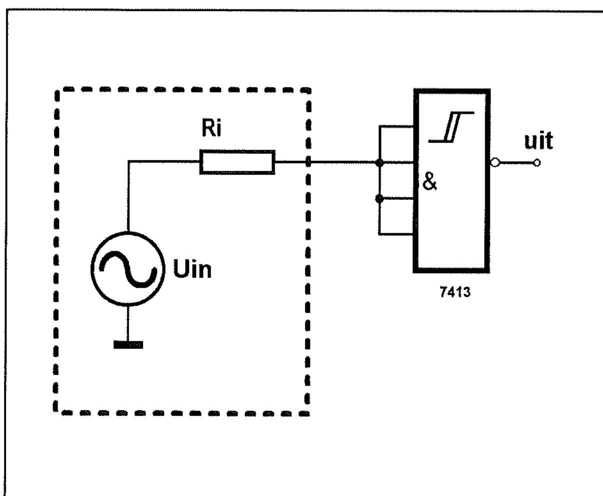
Deze IC-uitgangsspanning stuurt de verticale versterker. Als het IC goed is, ver-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

schijnt op het scherm een beeld dat grote gelijkenis vertoont met figuur 3/13.2-52. Als de scoopversterkers geijkt zijn kunnen de karakteristieke grootheden van het prentje afgelezen worden. In dit geval klopt het vrij aardig.

De 7413 als pulse-shaper

Zoals reeds geschreven is deze toepassing volledig gebaseerd op de hoofdeigenschap van de schakeling: de mogelijkheid om zeer langzame signalen in TTL-compatibele pulsen om te vormen. Figuur 3/13.2-53 geeft het basisschema.

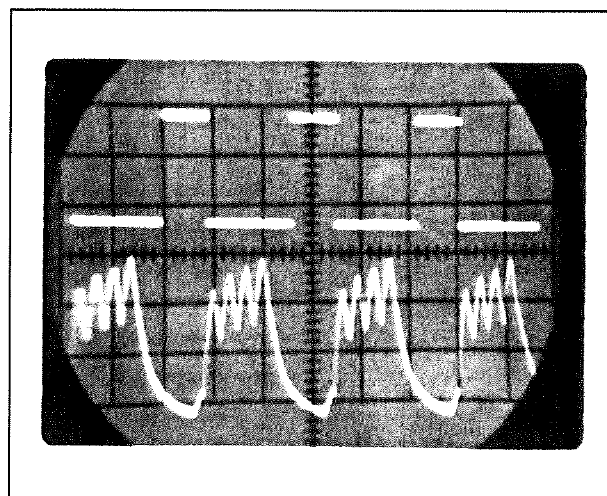


Figuur 3/13.2-53: Het basisschema voor het aansturen van de ingangen van de 7413.

Het gedeelte in de stippellijn stelt de schakeling voor, die signaal levert aan het IC. De weerstand Ri is de inwendige weerstand van deze schakeling. Deze weerstand is aan een maximum verbonden. Zoals men weet sturen TTL-IC's een bepaalde lekstroom door de voorgaande schakeling als de ingangsspanning laag is. Deze lekstroom bouwt over Ri een spanningsval op. Als Ri te groot is, wordt deze spanning groter dan 1,8 V, waardoor de onderste drempel overschreden is en de uitgang van het IC steeds "L" is.

Volgens fabriekspecificaties mag Ri bij de originele traditionele 7413 niet groter zijn dan 390 Ω. Dit houdt in dat de 7413 in de meeste gevallen via een emittervolger met de ingangsschakeling verbonden moet worden. Veel transistorschakelingen hebben immers een inwendige weerstand die groter is dan 390 Ω. De spanning Uin mag niet groter zijn dan 5,5 V.

Figuur 3/13.2-54 toont de pulse-shaper in actie.



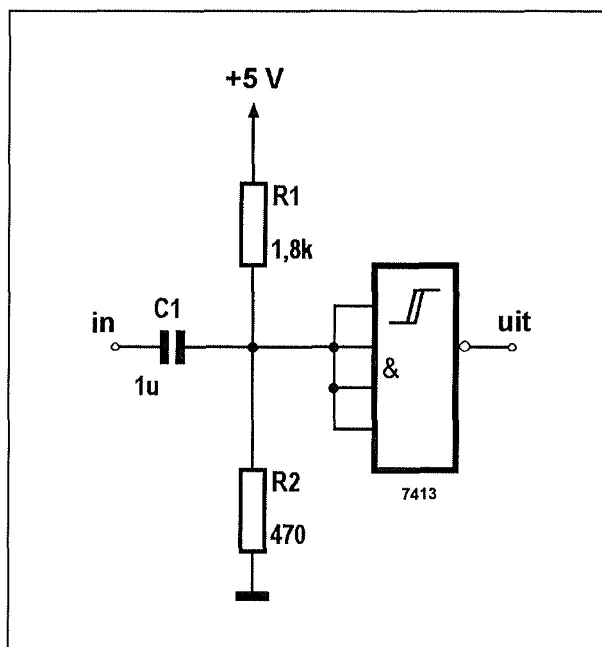
Figuur 3/13.2-54: Een mooi voorbeeldje van de werking van de 7413: onder de traag verlopende ingangsspanning, boven de mooie digitale uitgangsspanning.

De 7413 als sinus naar blok omzetter

In figuur 3/13.2-55 is getekend hoe u de schmitt-trigger moet gebruiken om een sinusgenerator te transformeren in een vierkantgolfgenerator. De spanningsdeler aan de ingang stelt het IC tussen de beide drempels in, waardoor de symmetrische uitgang wordt verkregen. De sinusspanning moet kleiner zijn dan 4 V

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

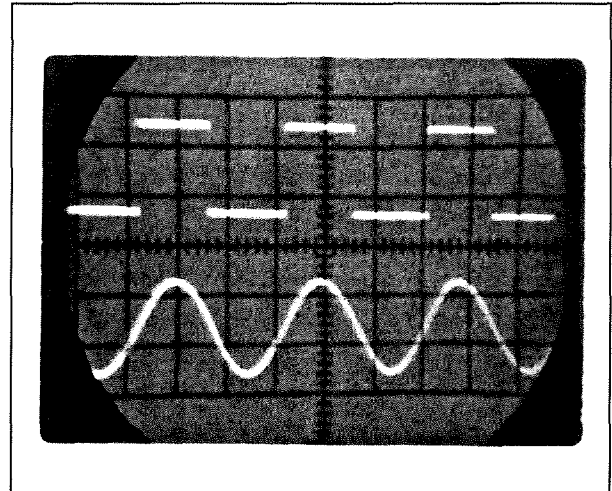
top-tot-top. De ingangscondensator moet zo groot zijn dat zijn impedantie verwaarloosd kan worden ten opzichte van de beide weerstanden. Door de lage weerstandswaarden is het nodig het sinussignaal uit een emittervolger te betrekken. Het betere soort sinusgenerator voldoet aan deze voorwaarde. Deze eenvoudige schakeling is ideaal om een sinusgenerator geschikt te maken voor het sturen van geïntegreerde digitale schakelingen en dit over een breed frequentiebereik.
Uit de scoop-foto van figuur 3/13.2-56 kunt u afleiden dat deze eenvoudige schakeling perfect werkt.



Figuur 3/13.2-55: Met deze eenvoudige schakeling zet u een sinus om in een mooie TTL-compatibele digitale puls.

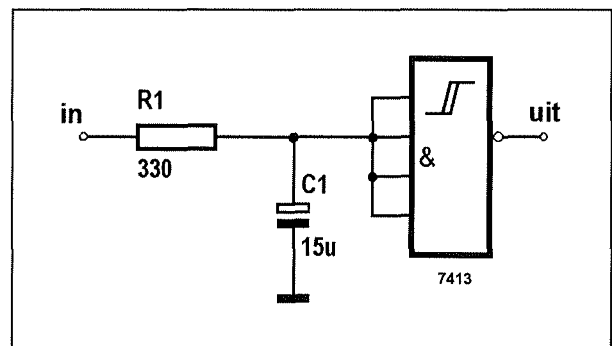
De 7413 als laagdoorlaat filter

Een van de problemen bij het gebruik van TTL-IC's is hun grote storingsgevoeligheid. Zeer smalle stoorpulsen (enige tientallen nanoseconden) op een signaalleiding volstaan om een IC te laten triggeren.



Figuur 3/13.2-56: De resultaten van de schakeling van figuur 3/13.2-55.

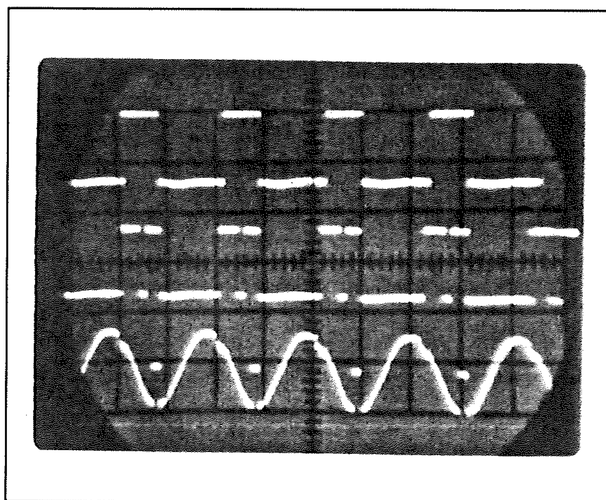
De 7413 lost dit probleem elegant op: een RC laagdoorlaat filter aan de ingang vangt alle stoorpulsen op, zodat het nuttige signaal zuiver aan de uitgang verschijnt, zie figuur 3/13.2-57.



Figuur 3/13.2-57: Deze eenvoudige schakeling is ideaal om storingen uit een signaal te filteren.

Uiteraard mag de weerstand niet groter zijn dan 390 Ω. Omdat de spanning steeds positief is ten opzichte van massa kunt u voor de condensator een zeer grote elco toepassen. Figuur 3/13.2-58 levert een overtuigend bewijs van de

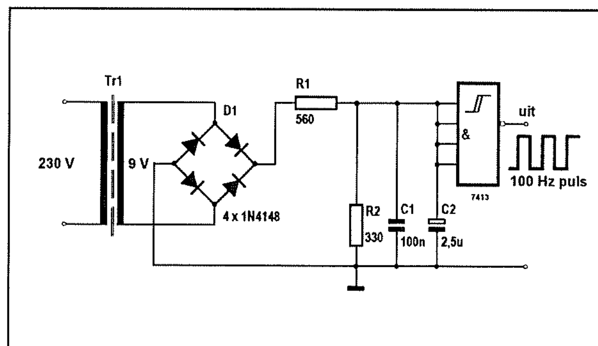
doeltreffendheid van de schakeling. Op een 50 Hz sinus werd kunstmatig een stoorpuls geënt (onder). Zonder elco triggert deze puls de schmitt-trigger, zodat voor iedere 50 Hz periode twee uitgangspulsen ontstaan (midden). Met aangesloten elco wordt deze stoorpuls, die waarachtig niet een van de smalste is, doeltreffend onderdrukt zodat de uitgang storingsvrij is (boven).



Figuur 3/13.2-58: Op deze manier werd de schakeling van figuur 3/13.2-57 op haar doeltreffendheid getest.

De 7413 als 100 Hz standaard

Een combinatie van de figuren 3/13.2-55 en -57 levert de schakeling op die de 7413 zo populair heeft gemaakt: een 100 Hz tijdreferentie voor sturing van netgevoede digitale tijdschakelaars en chronometers. De 230 V van het net heeft een frequentie die zeer nauwkeurig op 50,0 Hz wordt gehouden. Uit deze netspanning kunt u op een heel eenvoudige manier een digitale puls met een frequentie van precies 100,0 Hz afleiden. Deze puls is ideaal als frequentiereferentie voor alle digitale schakelingen waarin een nauwkeurige tijd een belangrijke rol speelt. De schakeling is in figuur 3/13.2-59 getekend. Uitgegaan is van een 9 V transformator, de spanning waarmee de meeste 5 V voedingen werken. Een brug opgebouwd uit 4 dioden vormt de wisselspanning om in een 100 Hz signaal. De spanningsdeler zorgt ervoor dat het IC niet overstuurd wordt. De elco neemt de stoorpulsen voor zijn rekening. Omdat een elco slechte VHF-eigenschappen heeft wordt zijn taak in dat frequentiegebied overgenomen door een kleine condensator.
Niet alle storingen dringen echter via de ingangsschakeling een digitale tijdschakelaar binnen. Ook de +5 V voeding kan een open venster zijn voor HF stoorpulsen. Goede ontkoppeling van de voeding is dan ook noodzaak.



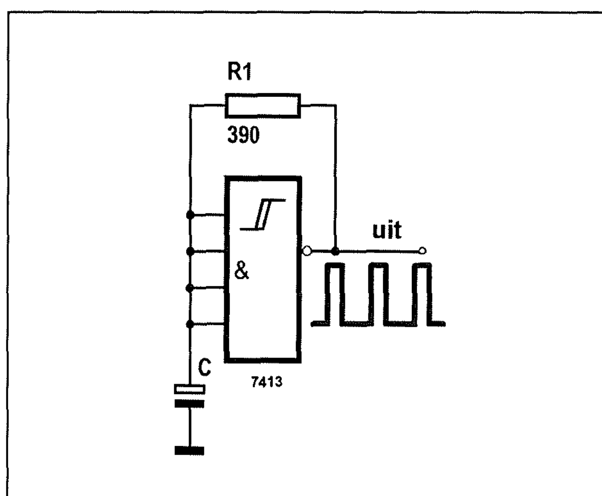
Figuur 3/13.2-59: Een eenvoudige schakeling voor het genereren van een nauwkeurige 100,0 Hz referentie.

De 7413 als multivibrator

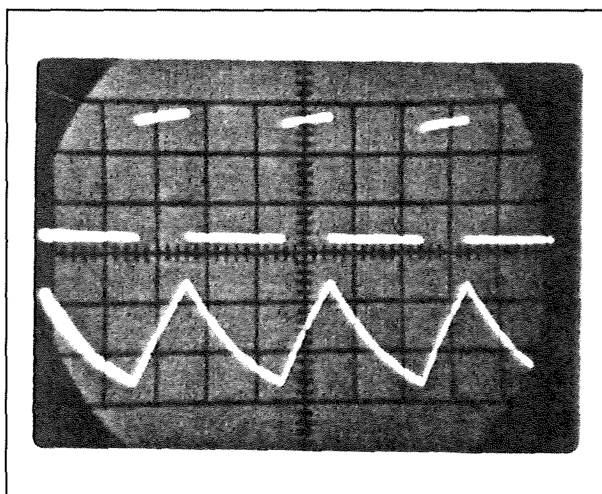
Een zelfstartende klokpulsgenerator met een zeer groot frequentiebereik kunt u volgens figuur 3/13.2-60 opbouwen. Door de waarde van de condensator te variëren is een frequentiebereik van acht decaden mogelijk. De werking wordt beschreven aan de hand van figuur 3/13.2-61. De bovenste grafiek is de uitgang, onderste de ingang van het IC.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

Stel dat de condensator ontladen is. De ingang is dus 0 V, zodat de uitgang "H" is. Deze spanning zal de condensator met een bepaalde stroom opladen via de weerstand. Als de condensatorspanning 1,8 V is triggert de schmitt-trigger en de uitgang wordt "L". De condensator ontlaadt dan via dezelfde weerstand. Dit duurt tot de condensatorspanning gedaald is tot 0,8 V.



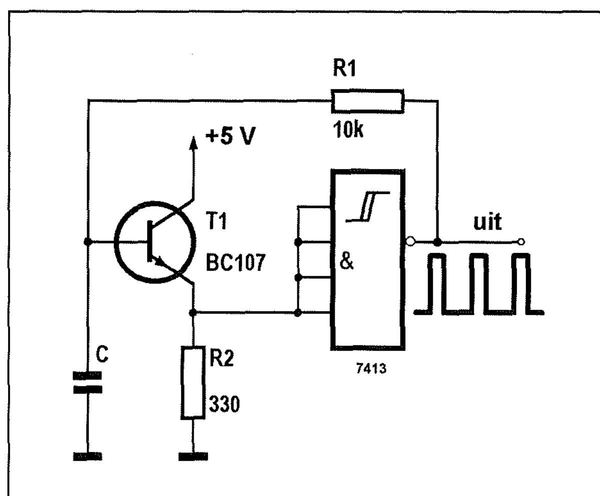
Figuur 3/13.2-60: De 7413 als astabiele multivibrator met een groot frequentiebereik.



Figuur 3/13.2-61: Deze grafieken onthullen de werking van de schakeling van figuur 3/13.2-60.

De onderste drempel wordt overschreden, de uitgang wordt weer "H", de condensator laadt opnieuw op.
Besluit is dat u door het veranderen van de waarde van C de frequentie kunt beinvloeden. Omdat de ontlaadweerstand klein is, is het duidelijk dat C vrij groot moet zijn om lage frequenties op te wekken. Voor een uitgangsfrequentie van 10 Hz is een elco van 200 μF nodig.

Een alternatieve AMV
De basisschakeling van figuur 3/13.2-60 is dus voornamelijk geschikt voor het genereren van HF-signalen. Met C = 220 pF is de frequentie ongeveer 20 MHz! Door een kleine modificatie kunt u de schakeling ook voor LF-toepassingen geschikt maken. Tussen de condensator en de schmitt-trigger wordt een emittervolger opgenomen. Gevolg is dat de terugkoppelweerstand tussen in- en uitgang veel groter kan worden, zie figuur 3/13.2-62.

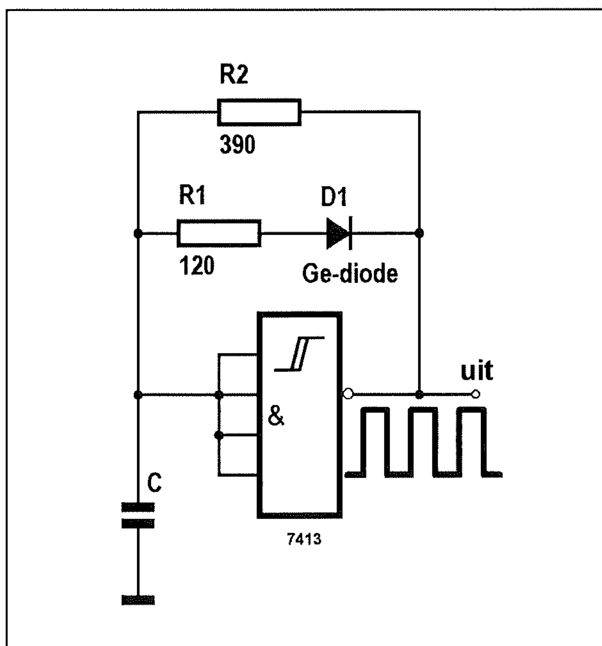


Figuur 3/13.2-62: Door het tussenschakelen van een emittervolger wordt de lage ingangsimpedantie van de originele 7413 verhoogd, zodat u met veel kleinere condensatorwaarden kunt werken.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

De tijdconstante van op- en ontladen wordt evenredig groter, zodat de frequentie kleiner wordt bij gebruik van dezelfde condensatorwaarde. Met deze schakeling is het zeer eenvoudig subsonische frequenties op te wekken: met C = 5.000 µF wordt de frequentie 0,2 Hz!

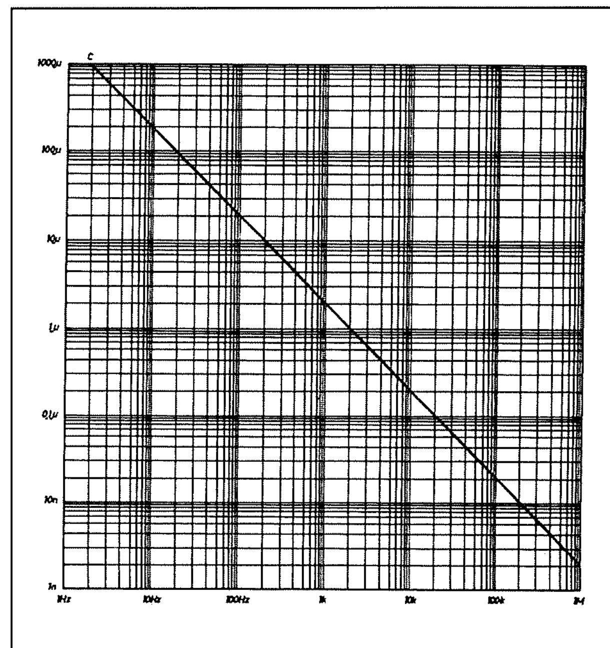
Symmetrische uitgang
Uit figuur 3/13.2-61 volgt dat de uitgangspuls niet symmetrisch is. Dit wordt veroorzaakt door de lekstroom van het IC die een handje helpt bij het laden van de condensator. Het laden gaat daardoor vlugger dan het ontladen. Is toch een symmetrische uitgang gewenst, dan brengt de schakeling van figuur 3/13.2-63 uitkomst.



Figuur 3/13.2-63: Wijziging van de basisschakeling, waardoor de uitgang symmetrisch wordt.

Een tweede ontlaadkring wordt gevormd door een weerstand in serie met een germaniumdiode. Als de uitgang "H" is spert deze diode en speelt de kring niet mee. C wordt opgeladen door de IC-lekstroom en door de weerstand van 390 Ω. Wordt de uitgang "L" dan geleidt de diode waardoor het ontladen via twee weerstanden gebeurt. Juiste dimensionering van de componenten zorgt voor gelijke laad- en ontlaadtijden en dus voor een symmetrische uitgang.

Berekenen van de componenten R en C
Om de paragraaf multivibrators af te sluiten, geeft figuur 3/13.2-64 een grafiek waaruit u voor iedere frequentie de bijbehorende condensatorwaarde kunt aflezen. Deze grafiek geldt alleen voor de basisschakeling van figuur 3/13.2-60!

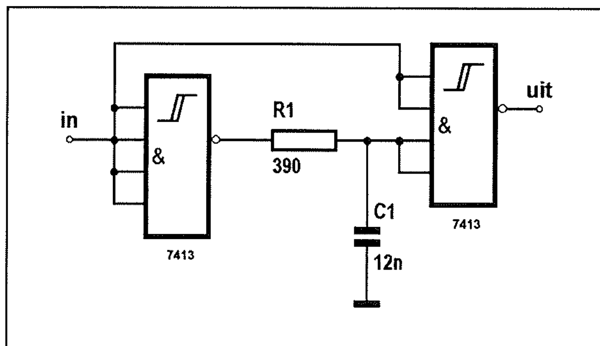


Figuur 3/13.2-64: Uit deze grafiek kunt u de waarde van de condensator aflezen in functie van de frequentie.

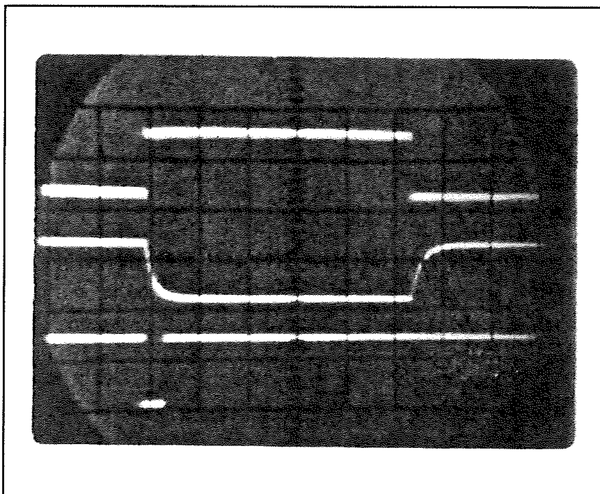
De 7413 als pulsverkorter
Een veel gebruikte elektronische schakeling is een differentiator die uit lange pulsen zeer smalle pulsen destilleert. De schakeling van figuur 3/13.2-65 biedt

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

een TTL-equivalent. De werking wordt verduidelijkt aan de hand van figuur 3/13.2-66.



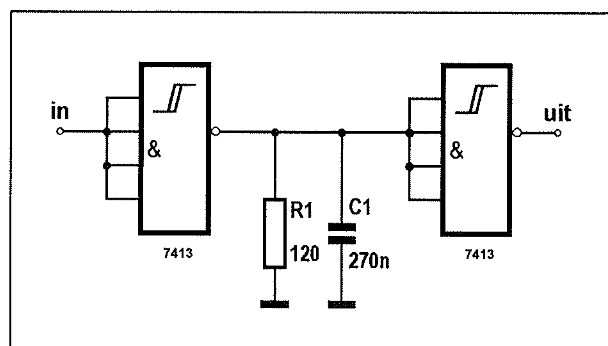
Figuur 3/13.2-65: Op deze manier kunt u met één 7413 uit een brede puls een smallere soortgenoot afleiden.



Figuur 3/13.2-66: De bij het schema van figuur 3/13.2-65 horende signalen: van boven naar onder de ingangsspanning, de spanning over de condensator en de uitgangsspanning.

Als de ingang "L" is, zal de uitgang van S1 "H" zijn. De condensator is opgeladen, de twee onderste ingangen van S2 zijn "H". Omdat de twee bovenste ingangen "L" zijn, is de uitgang "H". Stel nu dat u een lange puls aan de ingang aanlegt. Gevolg is dat de uitgang van S1 "L" wordt. De condensator gaat zich ontladen via de weerstand van 390 Ω. Momenteel zijn echter alle ingangen van S2 "H", zodat de uitgang "L" wordt. Dit duurt tot de condensator zover ontladen is dat de spanning op de twee onderste ingangen van S2 kleiner wordt dan de onderste drempel. Gevolg is dat S2 triggert, zodat de uitgang opnieuw "H" wordt.
U kunt besluiten dat de breedte van de uitgangspuls alleen wordt bepaald door de grootte van de condensator en niet door de breedte van de ingangspuls. Wat gebeurt er bij het einde van de ingangspuls? De twee bovenste ingangen van S2 worden dadelijk "L", zodat de uitgang "H" blijft. De condensator laadt op, de uitgang van S1 is immers "H". De schakeling is klaar om een nieuwe ingangspuls te verkorten.

De 7413 als pulsverlenger
Uiteraard is het eveneens handig een schakeling te bezitten die korte pulsen omvormt in lange. Figuur 3/13.2-67 biedt uitkomst, er wordt verwezen naar figuur 3/13.2-68 voor de werking.

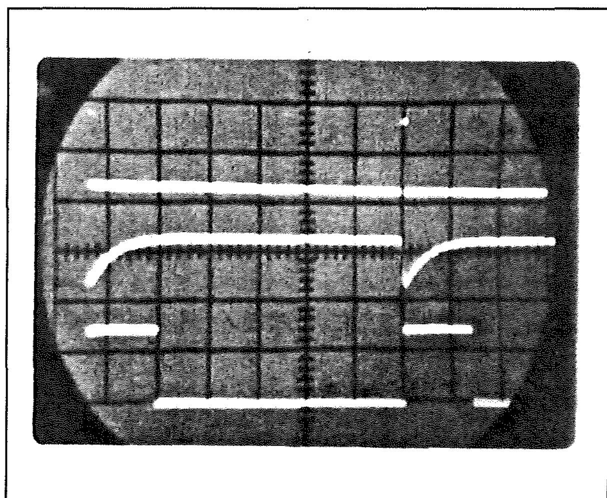


Figuur 3/13.2-67: Met deze schakeling kunt u smalle pulsen omvormen tot bredere.

In rust (ingang "L") is uitgang S1 = "H" en uitgang S2 = "L". Als een smalle posi-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

tieve puls de ingang stuurt, wordt uitgang van S1 "L". De condensator ontlaadt vrij snel door dit IC. Gevolg is dat de uitgang van S2 "H" wordt. Na de ingangspuls wil de uitgang van S1 dadelijk "H" worden. De ontladen condensator ontfermt zich echter over deze spanning, zodat deze exponentieel toeneemt. Gevolg is dat de uitgang van S2 "H" blijft tot de condensatorspanning de bovenste drempel overschrijdt.



Figuur 3/13.2-68: De spanningsvormen in de schakeling van figuur 3/13.2-67.

Uit bovenstaande zeer eenvoudige uitleg mag u niet afleiden dat deze schakeling probleemloos is. De waarde van de condensator is tamelijk kritisch. Als deze te groot is zal de condensator niet volledig ontladen worden gedurende de smalle ingangspuls. Gevolg is dat de condensatorspanning groter blijft dan de onderste drempel van S2, zodat de uitgang "L" blijft.
Als tegemoetkoming is een kleine weerstand van 120 Ω parallel aan de condensator aangebracht. Deze helpt mee om de condensator zo snel mogelijk te ontladen.

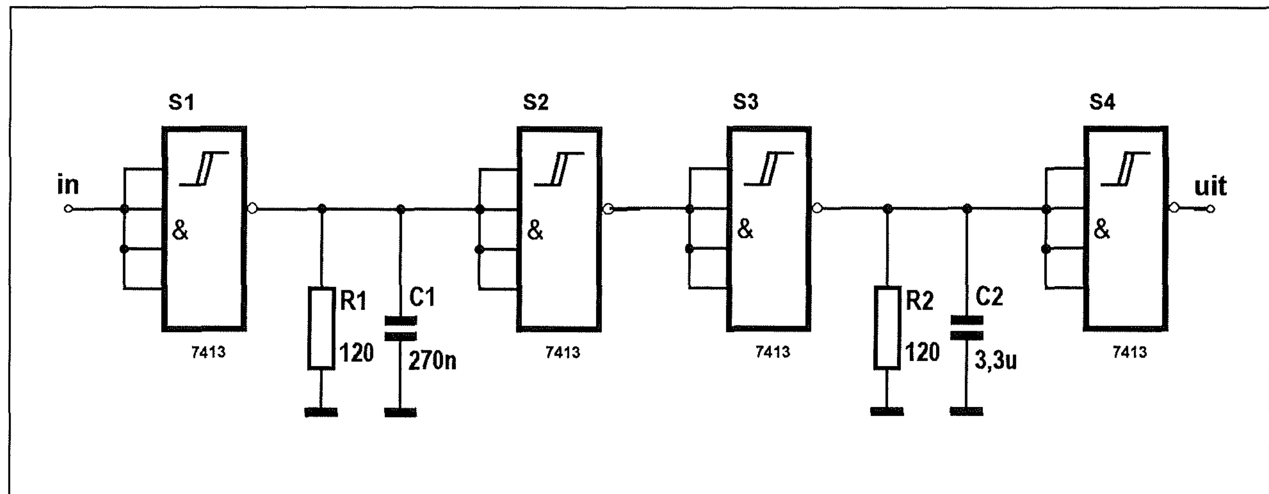
Met de theorieboeken in de hand kan aangetoond worden dat deze weerstand S1 te veel belast. In praktijk blijkt dit echter geen probleem te zijn. Ook met deze extra ontlaadweerstand is het echter niet mogelijk de ingangspuls meer dan 25 maal te verlengen.
Een andere onvolmaaktheid van de schakeling is dat de breedte van de uitgangspuls niet alleen door de waarde van de condensator bepaald wordt, maar eveneens door de breedte van de ingangspuls. Heeft u behoefte om een langere uitgangspuls te kweken, dan kunt u meerdere trappen achter elkaar schakelen. Een voorbeeld geeft figuur 3/13.2-69, met in figuur 3/13.2-70 de verschillende pulsbreedten.

Sequentiële schakelingen
De schakeling van figuur 3/13.2-69 is bruikbaar in uitgebreide digitale schakelingen, waar een aantal handelingen achter elkaar moet gebeuren. Bijvoorbeeld: telpoort sluiten, geheugen inlezen, teller resetten, telpoort openen. Door een cascadeschakeling van drie impulsverbreders ontstaan vier pulsen, waarvan de achterflanken in de tijd verschoven zijn. Deze negatief verlopende overgangen kunt u gebruiken voor het sturen van de handelingen, zonder dat deze elkaar beïnvloeden.

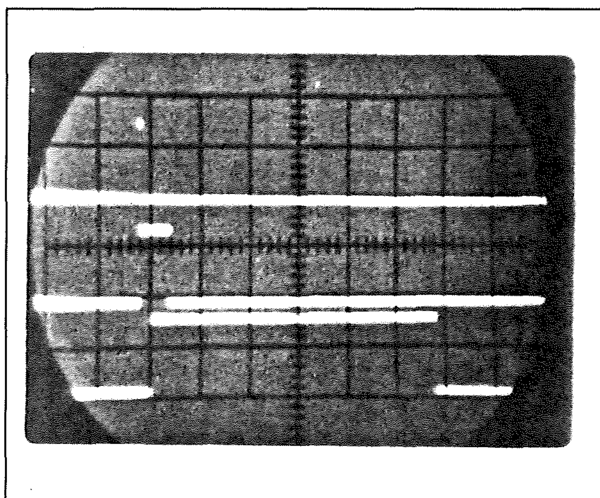
7402

Viervoudige NOR
De 7402 herbergt vier NOR-poorten met elk twee ingangen. De niet-of poort is, net als de niet-en poort, een basisfunctie van de TTL-logica. Het is daarom nuttig bij deze schakeling wat langer stil te staan.

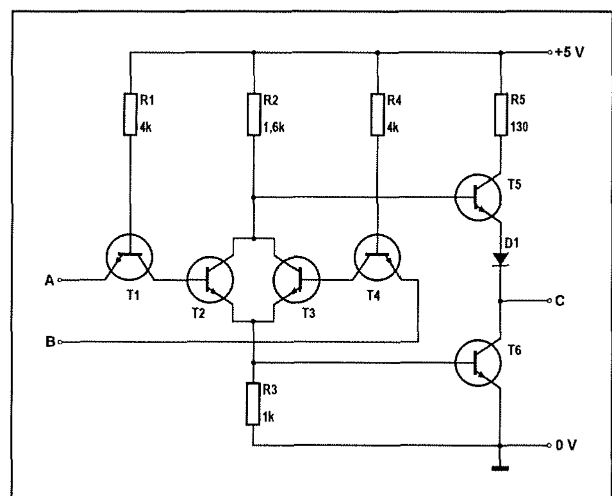
13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-69: Door cascadeschakeling van identieke schakelingen kunt u een puls in meerdere stappen verbreden.



Figuur 3/13.2-70: De pulsvormen in de schakeling van figuur 3/13.2-69: de ingangsspanning, de uitgang van S2 en de uitgang van S4.



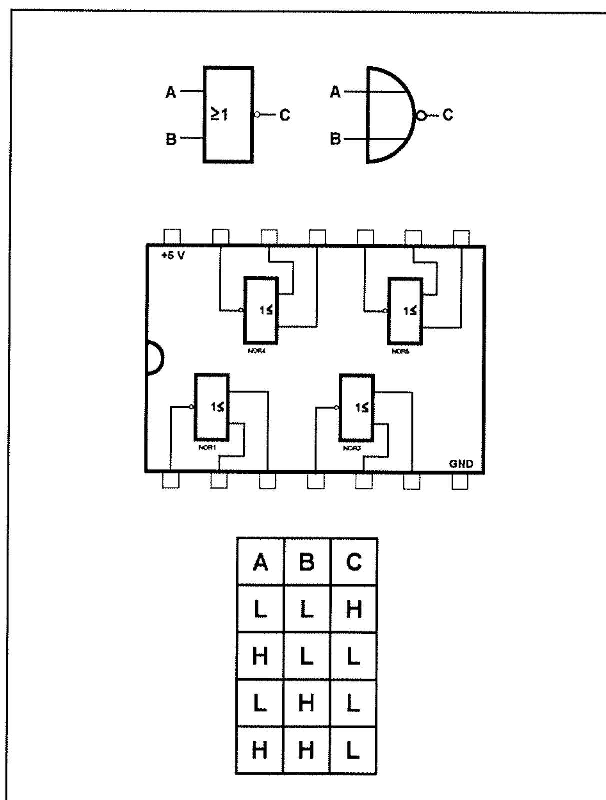
Figuur 3/13.2-71: De interne schakeling van één poort uit de 7402.

In figuur 3/13.2-71 is de interne schakeling van deze bouwsteen weergegeven. Bij vergelijking met het inwendige schema van de 7400 (figuur 3/13.2-1) vallen de overeenkomsten dadelijk op. De uitgangstrap is identiek, evenals de weerstandswaarden. Voor het uitvoeren van de logische functie zijn evenwel vier halfgeleiders noodzakelijk, namelijk T1 tot en met T4.

Als de ingangen A en B "L" zijn geleiden de transistoren T1 en T4. Gevolg is dat de basissen van T2 en T3 aan de massa liggen. Deze halfgeleiders sperren. Over R2 valt dus geen spanning. De +5 V stuurt nu de uitgang via transistor T5. Deze wordt hoog. Transistor T6 spert, over R3 wordt immers geen spanning opgebouwd.
Stel dat ingang A "L" wordt. Gevolg is dat T1 spert, zodat via de basis/collectordiode van T2 opengestuurd wordt. Als

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

gevolg gaat er een stroom vloeien die over weerstand R3 een spanning opbouwt. Transistor T6 gaat geleiden. De uitgang wordt met massa verbonden en wordt bijgevolg "L". De spanningsval over transistor T2 is zo klein, dat T5 niet geleiden kan. Uiteraard heeft het hoog worden van ingang B hetzelfde gevolg.
In figuur 3/13.2-72 is de logische werking van de NOR-poort samengevat. Tevens vindt u daar het symbool en de aansluitcode.
Het zal duidelijk zijn dat alles dat gezegd is bij de 7400 over spanningsniveaus, sturing en belasting, eveneens voor de 7402 geldt.

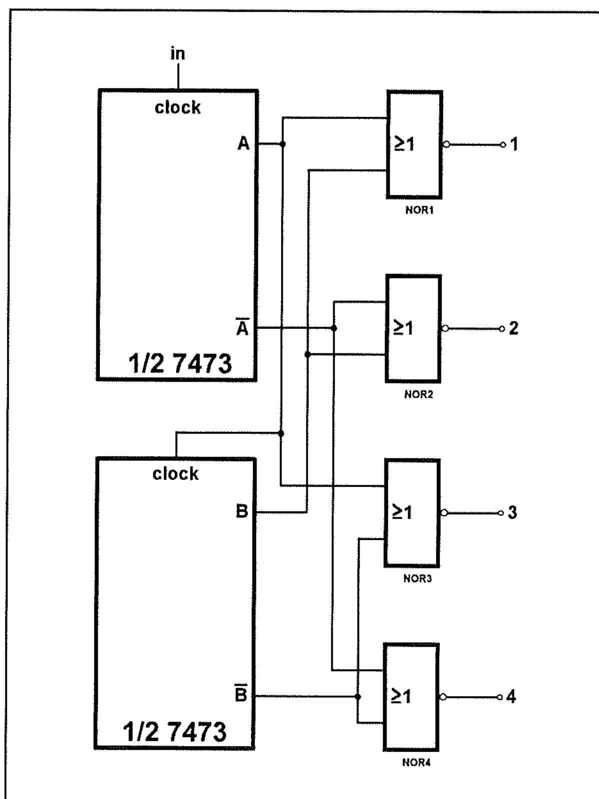


A	B	C
L	L	H
H	L	L
L	H	L
H	H	L

Figuur 3/13.2-72: De 7402 van kop tot teen.

Een alternatieve ringteller

Behalve de typische toepassingen, behorende bij de boolse schakeltechniek, biedt de 7402 niet zoveel mogelijkheden. Eén toepassing is echter wel een nadere uitwerking waard. Bij de bespreking van de 7401 werd reeds vermeld hoe u met een viervoudige poort en een dubbele flip-flop een ringteller kunt maken. Bij die toepassing liep een "L" de vier uitgangen van de schakelingen door. Meestal bestaat echter de behoefte aan een ronddravende "H". Dan kan de 7402 het speelveld ingestuurd worden. De figuren 3/13.2-73 en -74 maken veel woorden overbodig. In figuur 3/13.2-75 zijn de vier spanningen voor het impulsen-nageslacht vereeuwigd.



Figuur 3/13.2-73: Een alternatieve ringteller met een ronddolende "H".

De 7402 als lichtslang

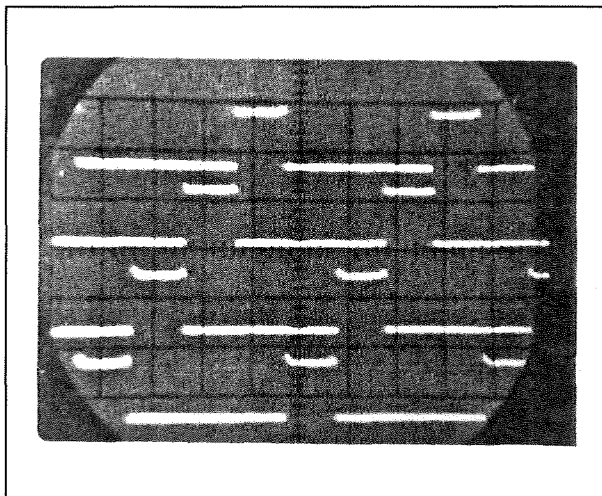
Met deze eenvoudige schakeling kunt u bijvoorbeeld een "lopende lichtslang" of "running light" samenstellen. Het volstaat iedere uitgang met een darlington

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

transistor af te sluiten. In figuur 3/13.2-76 is dit in beeld gebracht. Darlington T1/T2 stuurt het eerste, vijfde, negende, enz. lampje. Darlington T3/T4 neemt de nummers 2 - 6 - 10 voor zijn rekening.

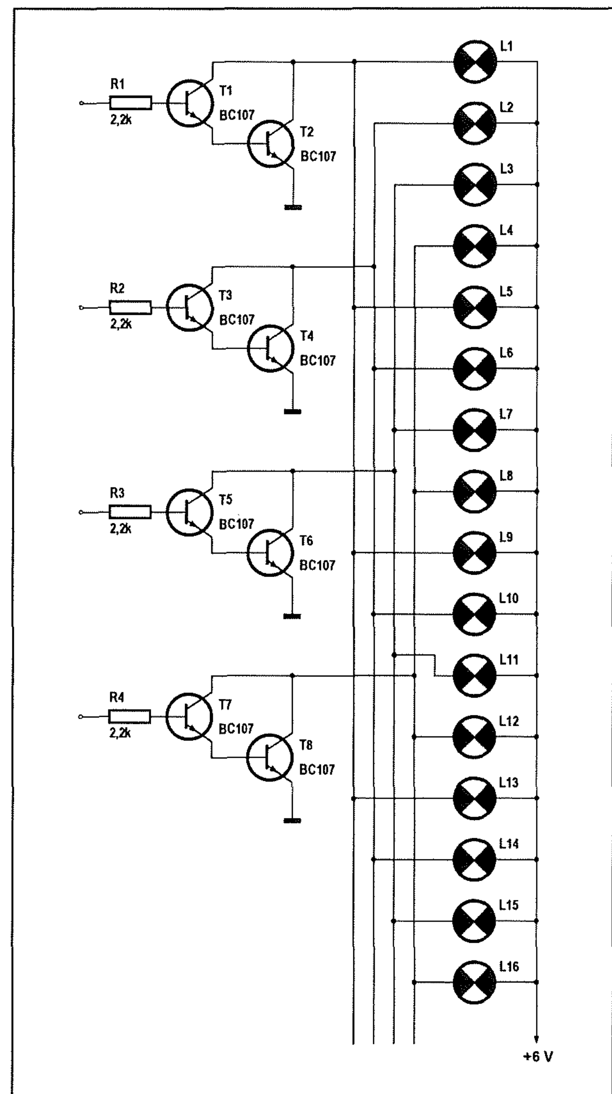
A	$\overline{A}$	B	$\overline{B}$	1	2	3	4
L	H	L	H	H	L	L	L
H	L	L	H	L	H	L	L
L	H	H	L	L	L	H	L
H	L	H	L	L	L	L	H

Figuur 3/13.2-74: De waarheidstabel van de schakeling van figuur 3/13.2-73.



Figuur 3/13.2-75: De vier uitgangspulsen van de schakeling van figuur 3/13.2-73 in de praktijk.

De overige lampjes worden tussen T5/T6 en T7/T8 verdeeld. Als klokgenerator neemt u bijvoorbeeld een 7413 als AMV geschakeld. De condensator krijgt een tamelijk hoge waarde, zodat de klokfrequentie niet veel hoger is dan 5 Hz. Bij aanschakelen lijkt het net of het licht met hoge snelheid door de lichtslang draaft. Het praktische nut van deze schakeling ligt uiteraard hoofdzakelijk in de etalage-inrichting en disco.



Figuur 3/13.2-76: De uitbreidingsschakeling waarmee u van een 7402 een lichtslang maakt.

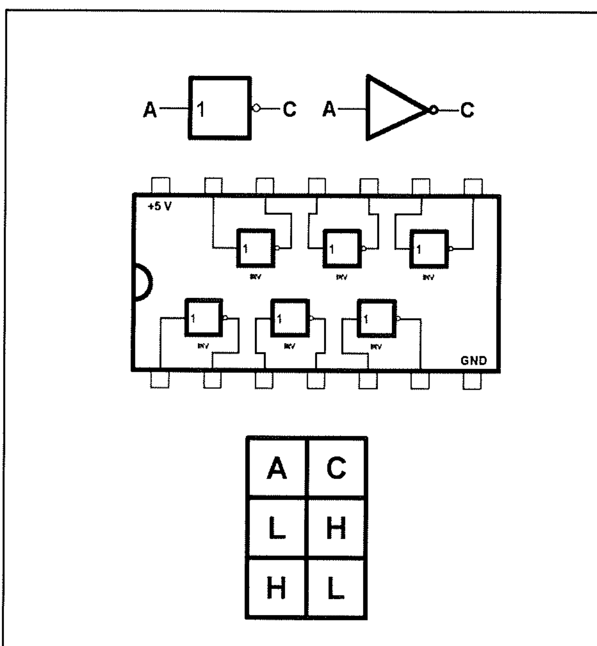
7404

Zesvoudige inverter

Een inverter is, zoals u weet, een schakeling die een puls omzet in zijn comple-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

ment. Een "H" wordt een "L" en vice versa. In de digitale techniek is het vaak noodzakelijk over het complement van een signaal te beschikken. Nu is het uiteraard mogelijk een NAND of NOR als inverter te gebruiken door beide ingangen parallel te schakelen. Maar op deze manier wordt dit IC ver onder zijn capaciteiten benut. Dat vonden de IC-fabrikanten blijkbaar ook en het gevolg was een ruim assortiment van typische inverter IC's.
De goedkoopste is de 7404, waar zes inverters ingebouwd zijn. Het inwendige schema is gelijk aan dat van de 7400. Het enige verschil is de ingangstransistor die met slechts één emitter door het leven moet gaan.
In figuur 3/13.2-77 zijn alle identiteitsbepalende gegevens verzameld.

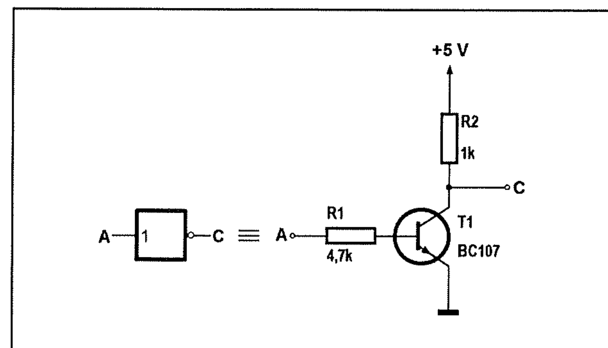


A	C
L	H
H	L

Figuur 3/13.2-77: De gegevens van de 7404.

Inverteren

De meeste toepassingen van dit IC liggen in de zuivere logische schakelingen. Heeft u bij een bepaalde toepassing slechts een of twee inverters nodig, dan is het zeer oneconomisch daarvoor een IC met zes schakelingen te verkwisten. Een transistor met twee weerstandjes, zoals voorgesteld in figuur 3/13.2-78, is dan beter op zijn plaats, zolang de werkfrequentie niet te hoog wordt.

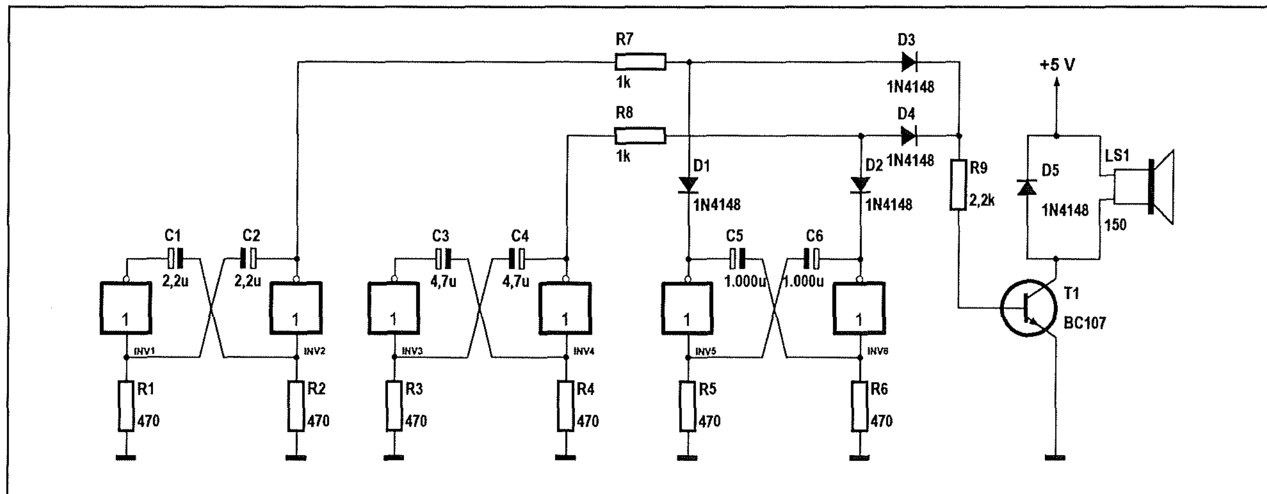


Figuur 3/13.2-78: Een transistor en twee weerstandjes kunnen vaak een inverter vervangen.

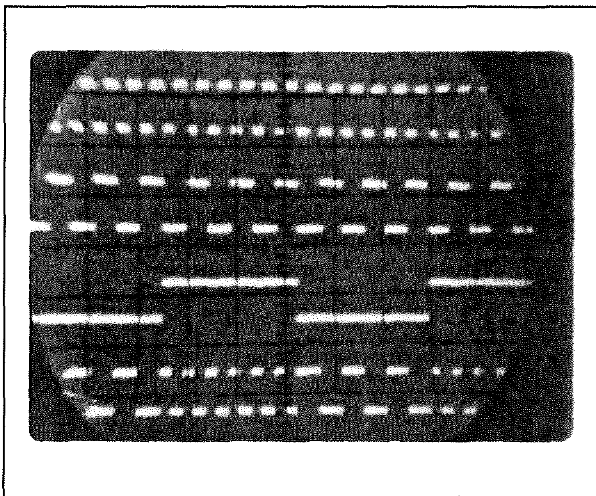
Tweetonig acoustisch alarm

Een schakeling, waar de 7404 wel volledig tot zijn recht komt en die zowaar nog praktisch bruikbaar kan zijn, is getekend in figuur 3/13.2-79. Het IC wordt hier gebruikt in een tweetonig acoustisch alarm. De inverters INV1 en INV2 vormen de reeds bekende astabiele multivibrator. Deze schakeling is uitvoerig besproken bij de 7400. Omdat de waarde van R1 en R2 niet te groot mag zijn, wordt u verplicht de condensatoren tamelijk groot te kiezen, zodat het gebruik van elco's onvermijdelijk wordt. Met een waarde van 2,2 µF wordt de opgewekte frequentie 424 Hz. INV3 en INV4 spelen het zelfde spelletje wat resulteert in een frequentie van 215 Hz. De bedoeling is dat deze twee toontjes afwisselend aan de luidspreker worden aangeboden. Het derde inverterpaartje INV5 en INV6 levert aan de uitgang twee blokgolven met een frequentie van ongeveer 1 Hz.

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten



Figuur 3/13.2-79: Een tweetonig alarm kunt u samenstellen met slechts zes inverters.



Figuur 3/13.2-80: De spanningsvormen uit de schakeling van figuur 3/13.2-79.

Uiteraard verlopen deze signalen complementair. De werking is nu duidelijk. Stel dat de uitgang van INV5 "L" is. Gevolg is dat het 424 Hz signaal via R7 en D1 naar massa wordt afgeleid. Omdat de uitgang van INV6 "H" is, spert D2 zodat de 215 Hz kanteelspanning ongehinderd via R8-D4-R9 de basis van transistor T1 bereikt. Een halve seconde later veranderen de inverters INV5 en INV6 van toestand. Het gevolg is dat het lage signaal onderdrukt wordt.

Het hoge toontje zal de luidsprekerconus aan het trillen brengt. Diode D5 tempert de inductieve spanningspieken van de luidspreker.
In figuur 3/13.2-80 is een en ander in beeld gebracht. Om de werking duidelijk te maken, werd de frequentie van de derde oscillator drastisch verhoogd.

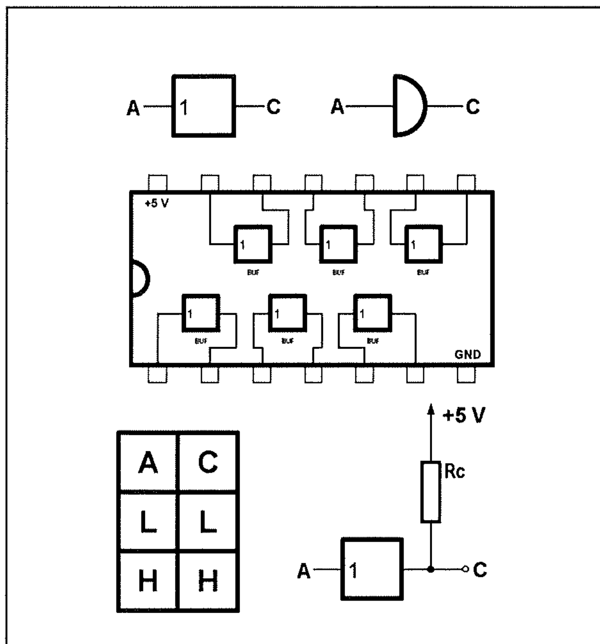
7407

Viervoudige buffer

TTL-IC's worden vaak ingezet in gecompliceerde analoge schakelingen. Te denken valt aan analoog-naar-digitaal omzetters, afstandsbesturing, enzovoort. Naast de ontelbare voordelen, zoals eenvoud van schakeling, hoge schakelsnelheid en plaatsbesparing, zijn er toch een paar punten die voor problemen kunnen zorgen. Allereerst natuurlijk de beperkte voedingsspanning van +5 V. Direct gevolg is dat de TTL-impulsen een maximale amplitude hebben van 4 V. Veel analoge schakelingen nemen met deze minipulsjes geen genoegen. Bovendien leveren TTL-IC's niet steeds adonissen van pulsen af. Het "dak" van een tien-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

teller uitgangspuls kan wel eens vrij hobbelig zijn. Om deze problemen op te lossen zijn er bufferschakelingen ontwikkeld, die de TTL-impulsen omvormen tot grote en welgebouwde signalen.
De 7407 is de meest universele buffer. Ieder exemplaar bevat zes schakelingen. Dit IC wordt in figuur 3/13.2-81 voorgesteld. U merkt de uitwendige belastingsweerstand Rc op, die met een externe spanning Vc wordt gevoed.

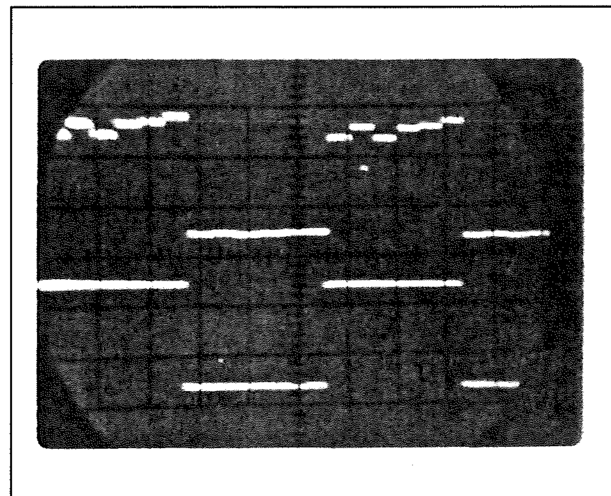


A	C
L	L
H	H

Figuur 3/13.2-81: De zesvoudige uitgangsbuffer 7407.

Het nut van dit IC blijkt uit figuur 3/13.2-82. Een uitgangspuls van een TTL twaalfdeler die zeker moeders mooiste niet is, wordt omgevormd tot een fraaie rechthoek. De amplitude van de puls is gelijk aan de waarde van +Vc en u heeft deze dus volledig in de hand, het maximum is echter 30 V. Verder voordeel is dat de eindtrap van het IC een stroom van 40 mA kan verwerken, zodat u bijvoorbeeld thyristoren en triac's rechtstreeks uit dit IC kunt sturen.

Zoals opgemerkt bij de 7401 brengt het gebruik van de uitwendige belastingsweerstand een vergroting van de pulsstijgtijd met zich mee. U moet bijgevolg de weerstand Rc zo laag mogelijk kiezen.



Figuur 3/13.2-82: De uitgangspuls van een 7492 ondergaat een "total make-over" dankzij de schoonheidsspecialist 7407.

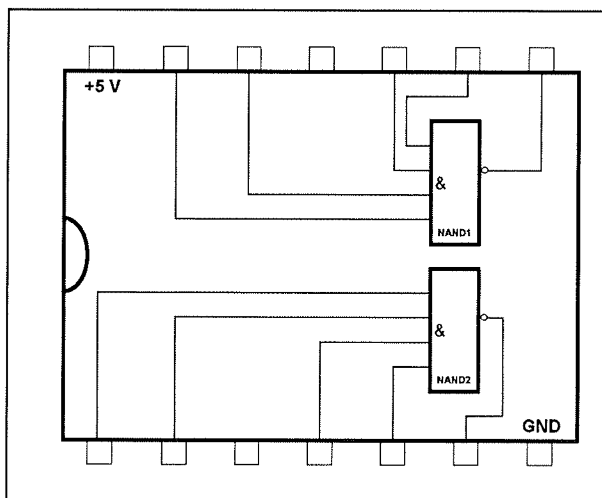
7440

Vermogen-NAND

Zoals reeds bij de bespreking van de 7400 uitgelegd, doet zich bij TTL het vreemde verschijnsel voor dat de IC-ingangen stroom sturen in de zich op "L"-niveau bevindende uitgang van de voorgaande poort. Deze stroomgrootte wordt uitgedrukt door de "fan-in". Iedere fan-in eenheid komt overeen met 1,6 mA. De tot nu toe besproken poorten hebben allen een fan-in van 1. Dit wil zeggen dat iedere ingang een stroom van 1,6 mA stuurt in de "L" uitgang van de voorgaande poort. Het spreekt vanzelf dat die uitgang niet zomaar een willekeurig aantal ingangsstromen kan verwerken. Hoe groot zijn capaciteiten zijn

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

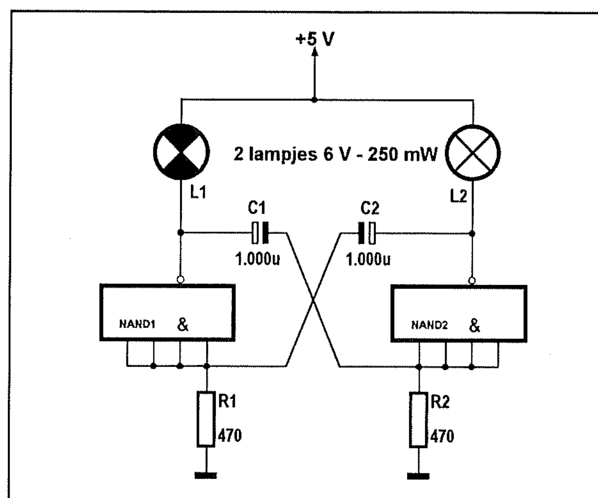
wordt aangeduid door de "fan-out". De besproken poorten hebben een fan-out van 10, hetgeen overeenkomt met een stroom van 16 mA. Iedere poort kan dus tien ingangen van andere poorten sturen. Helaas zijn er IC's die ingangen hebben met veel grotere fan-in's. Zo heeft bijvoorbeeld de klokingang van een 7475 een fan-in van 4. Dit heeft tot gevolg dat een normale poort slechts twee van dergelijke IC's kan sturen. Om deze moeilijkheid te omzeilen is er een zogenaamde vermogen-NAND ontwikkeld, met een fan-out van 30. Dit is de 7440, inhoudende twee NAND's met vier ingangen. De uitgangen kunnen 48 mA verwerken, tenminste als hun niveau laag is. U kunt dus normale 6 V-50 mA lampjes rechtstreeks met dit IC sturen. De aansluitgegevens zijn voorgesteld in figuur 3/13.2-83.



Figuur 3/13.2-83: De aansluitgegevens van de 7440.

Eenvoudig knipperlicht

Een leuke toepassing van de 7440 is een knipperlichtschakeling, die bij modelbouw goede diensten kan bewijzen. In figuur 3/13.2-84 is het schema getekend. U herkent de astabiele multivibrator, die dankzij de grote condensatoren op een frequentie van ongeveer 2 Hz oscilleert. Telkens als er een uitgang "L" wordt, vloeit er stroom door het lampje. Dit licht op, terwijl het andere lampje gedoofd is. Als de oscillator omklapt gaat het tweede lampje branden en dooft het eerste.



Figuur 3/13.2-84: De meest eenvoudige knipperlichtschakeling met een 7440.

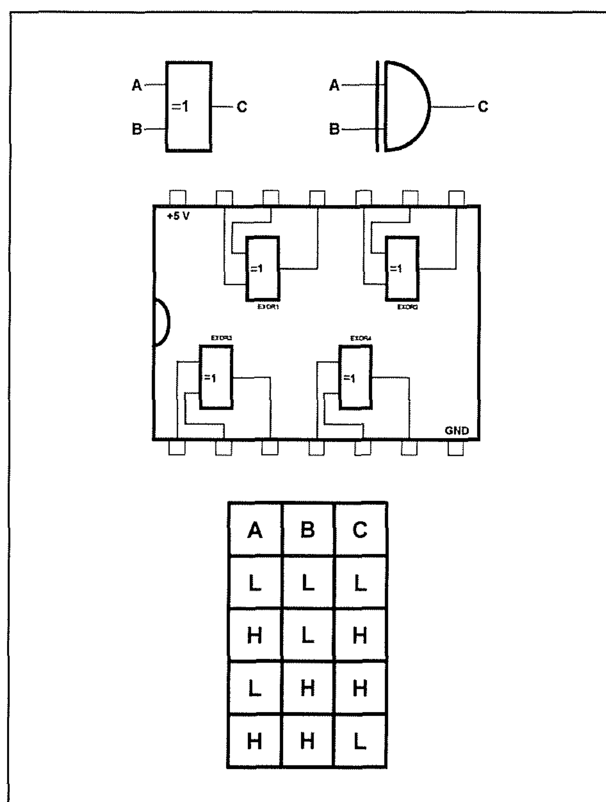
7486

Viervoudige exclusive-OR

Bij de bespreking van de 7400 werd als laatste toepassing een digitale vergelijker besproken, die de toestand van twee binaire signalen met elkaar vergelijkt. Zijn beide signalen "H" of "L", dan wordt de uitgang van de vergelijker "L".
Meestal wilt u veel meer dan twee signalen met elkaar vergelijken. Om dit zo eenvoudig mogelijk te maken is de 7486 ontwikkeld. Dit IC bevat vier binaire vergelijkers, die ook exclusive-OR of EXOR worden genoemd. In figuur 3/13.2-85 zijn alle noodzakelijke gegevens samengevoegd. Met één IC kunt u dus twee cij-

13.2 Basis-schakelingen met TTL-poorten

fers van 0 tot en met 9 met elkaar te vergelijken, onder de voorwaarde dat deze cijfers onder BCD-vorm aanwezig zijn.

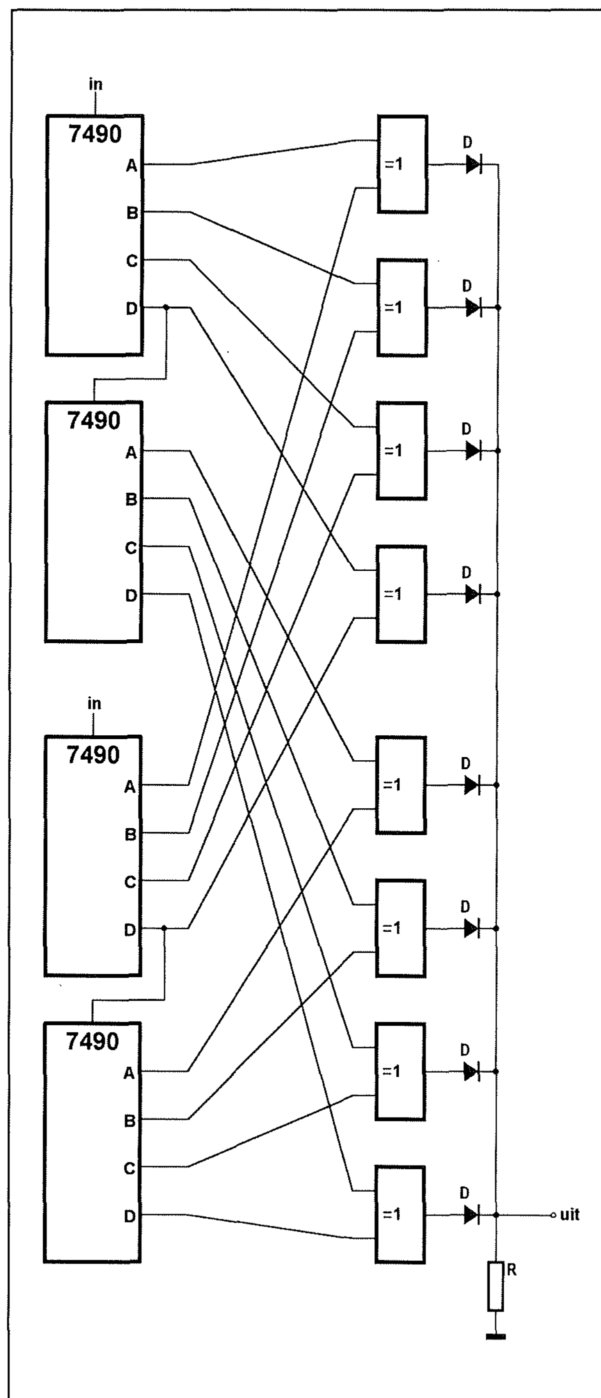


A	B	C
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	L

Figuur 3/13.2-85: De gegevens van de 7486.

Elektronische koekoeksklok

In figuur 3/13.2-86 is een praktische toepassing van de 7486 getekend. Dit is een deel van het schema van een elektronische koekoeksklok. De eerste teller, opgebouwd uit twee tientellers, is de normale urenteller die aanwezig is in iedere digitale klok. Met de tweede teller wordt het aantal "koekoeks" geteld, opgewekt door een koekoeksgenerator. Zolang dit aantal kleiner is dan de stand van de urenteller, zijn er een of meer uitgangen van de exclusive-or poorten "H", zodat er dioden geleiden en de uitgang op "H" niveau houden. Als de generator het juiste aantal "koekoeks" heeft opgewekt, worden alle poort-uitgangen "L". De uitgang wordt eveneens "L" en stopt via een flip-flop de koekoeksgenerator.



Figuur 3/13.2-86: Met deze schakeling kunt u de inhoud van twee tellers vergelijken.